



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ANALÝZA RIZIKA POSOUZENÍ NOSNÉ ŽB KONSTRUKCE

RISK ANALYSIS OF LOAD BEARING RC STRUCTURE REVIEW

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Bohatec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Šimůnek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav soudního inženýrství
Student: **Bc. Jiří Bohatec**
Studijní program: Rizikové inženýrství
Studijní obor: Řízení rizik stavebních konstrukcí
Vedoucí práce: **Ing. Petr Šimůnek, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza rizika posouzení nosné ŽB konstrukce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat analýzou rizik při hodnocení železobetonové konstrukce. Řešení se bude týkat materiálové základny, způsobu volby a ověření materiálových modelů, způsob zesílení konstrukce. Součástí práce bude konstrukční návrh a způsob ověření spolehlivosti konstrukce. Při hodnocení spolehlivosti návrhu budou použity nástroje pro analýzu rizik, stavební mechaniky a návrhové přístupy mezních stavů. V rámci práce se předpokládají minimálně znalosti na úrovni bakalářského studia se zaměřením na statiku stavebních konstrukcí a návrh železobetonových konstrukcí. Nutná je znalost anglického jazyka alespoň na základní úrovni.

Cíle diplomové práce:

Popsat způsob posouzení stávající (a následně zesílené) ŽB konstrukce (vybraných prvků - např. sloupu). Riziková analýza postupu hodnocení ŽB konstrukcí - vybraných částí hodnocení.

Seznam literatury:

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – část 1-1: Vlastní tíha a užitná zatížení
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla
- [4] ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla
- [5] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- [6] JCSS publications

[7] Modarres, M., Kaminskiy, M., Krivtsov, V.: Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide, USA 2010, ISBN 9780849392474

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá hodnocením rizik v průběhu zesilování železobetonového sloupu. Popisuje hodnocení existujících konstrukcí dle normy ČSN ISO 13822, rozebírá nebezpečí, která mohou nastat při určení únosnosti stávající konstrukce. Dále práce popisuje jednotlivé fáze zesilování ocelovou bandáží, jejich působení a vliv na celkovou únosnost. Také ukazuje výpočetní postup zesilování železobetonového sloupu, pomocí ocelové bandáže, vycházející z normy ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1998-3. Na konkrétním příkladu zesílení je ukázán postup stanovení únosnosti a poté je navrženo její zvýšení. Na dvou příkladech je provedena analýza rizika pomocí univerzální maticové analýzy rizik, která identifikuje a kvantifikuje význam jednotlivých nebezpečí spojených s výpočtem a realizací projektu.

Abstract

Master thesis deals with the evaluation of risks in the course of strengthening reinforced concrete column. It describes the assessment of existing structures according to ISO 13822, discusses the dangers that can occur when determining the carrying capacity of the existing structure. It also describes the different phases of strengthening steel banding, their functions and influence on the overall capacity. Also showing calculation process of strengthening reinforced concrete column, using steel banding, based on standard EN 1992-1-1 and EN 1998-3. In a concrete example of reinforcement is shown a process for determining the carrying capacity and then designed to the increase. In the two examples performs risk analysis using the universal matrix of risk analysis that identifies and quantifies the importance of various hazards associated with the calculation and implementation of the project.

Klíčová slova

Analýza rizik, zesílení, ocelová bandáž, železobetonová konstrukce, hodnocení stávající konstrukce, UMRA, ČSN ISO 13822, sloup, nebezpečí

Keywords

Risk analysis, reinforcement, steel banding, reinforced concrete structure, assessment current structure, UMRA, ISO 13822, column, danger

Bibliografická citace

BOHATEC, J. *Analýza rizika posouzení nosné ŽB konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2016. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Šimůnek, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 10. 2016

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu Ing. Petru Šimůnkovi, Ph.D. za nesčetné odborné rady, trpělivost při vedení a dále za poskytnutí odborné literatury. V neposlední řadě také za ochotu předávat své zkušenosti.

Obsah

1	Úvod	11
2	Popis postupu hodnocení existujících konstrukcí dle ČSN ISO 13822	12
2.1	Účel hodnocení	12
2.2	Postup	13
2.3	Scénáře.....	13
2.4	Předběžné hodnocení.....	16
2.4.1	Studium dokumentace a dalších údajů.....	16
2.4.2	Předběžná prohlídka.....	17
2.4.3	Předběžná ověření.....	17
2.4.4	Rozhodnutí o okamžitých opatřeních	18
2.4.5	Doporučení pro podrobné hodnocení.....	18
2.5	Podrobné hodnocení	19
2.5.1	Podrobné vyhledání a prověření dokumentace	19
2.5.2	Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů	20
2.5.3	Stanovení zatížení	22
2.5.4	Stanovení vlastností konstrukcí.....	24
2.5.5	Analýza konstrukce.....	24
2.5.6	Ověření.....	25
2.6	Výsledky hodnocení	27
2.6.1	Zpráva	27
2.6.2	Koncepční návrh konstrukčních opatření.....	27
2.6.3	Řízení rizik.....	28
2.7	Posudek a rozhodnutí.....	28
2.7.1	Rozhodnutí.....	28
2.7.2	Změna užívání	29
3	Zesilování železobetonových konstrukcí.....	30

3.1	Jednoosá napjatost	30
3.2	Trojosá napjatost.....	31
3.3	Ocelová bandáž.....	32
3.3.1	Podélné úhelníky	32
3.3.2	Příčné pásy.....	33
3.3.3	Úprava hlavy a paty sloupu	34
3.4	Změny přetvoření v čase	35
3.5	Přetvoření ve chvíli zesilování	37
3.6	Výpočet.....	38
4	Praktický příklad hodnocení a realizace opatření existující konstrukce	41
4.1	Předmět hodnocení	41
4.2	Popis konstrukce	41
4.3	Průzkum.....	42
4.3.1	Zkoumané dokumenty	42
4.3.2	Předměty prohlídky.....	42
4.3.3	Postupy odběru vzorků a zkušební postupy	42
4.3.4	Výsledky zkoušek	43
4.4	Analýza.....	44
4.5	Ověření	45
4.6	Hodnocení zjištěných skutečností.....	46
4.7	Posouzení možných variant opatření.....	46
4.7.1	Výpočet.....	46
4.7.2	Citlivostní analýza.....	50
4.7.3	Postup provádění.....	52
4.8	Analýza rizik	54
4.8.1	Analýza rizik procesu rekonstrukce stavby	55
4.8.2	Analýza rizik procesu zesílení sloupu.....	58

4.9	Závěry a doporučení.....	62
5	Závěr.....	63
6	Seznam zdrojů.....	64
6.1	Normy.....	64
6.2	Internetové zdroje	65
6.3	Literatura	66
6.4	Prezentace.....	67
7	Seznam obrázků.....	68
8	Seznam tabulek.....	70

1 Úvod

Diplomová práce se bude zabývat zesílením železobetonového sloupu pomocí ocelové bandáže. Práce by měla popsat ověřování únosnosti stávající konstrukce, měla by popsat návrh a posouzení ocelové bandáže za účelem zvýšení únosnosti železobetonového sloupu a na závěr zhodnotit možná nebezpečí vyplývající z postupu zesilování.

Proběhne postup hodnocení existujících konstrukcí podle normy ČSN ISO 13822 [1]. První část se zaměří na jednotlivé kroky vycházející z této normy a nastíní nebezpečí, které se mohou v průběhu hodnocení vyskytnout.

V další části bude popsáno působení jednoosé a trojosé napjatosti, způsoby jak docílit stavu sevření betonu a bude popsán výpočet únosnosti železobetonového sloupu podle norem ČSN EN 1998-3 [2] a ČSN EN 1992-1-1 [3].

Hodnocení existujících konstrukcí je velmi důležitou součástí stavebnictví. K hodnocení mohou vést různé důvody, například změna užívání, prodloužení návrhové životnosti, posouzení stavu po mimořádné události a další.

Budovy pozemního stavitelství se navrhují v rozmezí 50 až 100 let podle občanské důležitosti. Po uplynutí této doby se musí posoudit zbytková životnost, tedy předpokládá se, že stavba projde kompletní prohlídkou a určí se její technický stav, případně se navrhne opatření k prodloužení její životnosti. Průměrné stáří rodinných a bytových domů v České republice se pohybuje okolo 45 let (informace z českého statistického úřadu [4]), z toho vychází, že je tato problematika velmi aktuální. Bohužel se v praxi zjišťování technického stavu konstrukce při rekonstrukcích opomíjí, většinou se spokojí s vizuální kontrolou, k zjišťování technického stavu konstrukce se přistupuje až ve chvíli viditelných poruch.

Na praktickém příkladu bude popsán konkrétní postup hodnocení a následné opatření ke zvýšení únosnosti stávající konstrukce. V tomto příkladu bude pozornost soustředěna na železobetonový sloup rámového skeletu. Bude provedeno hodnocení jeho aktuálního stavu a posouzení na nové předpokládané zatížení, případně návrh opatření na zvýšení únosnosti. Na tomto příkladu bude provedena analýza rizik pomocí sestavené univerzální matice analýzy rizik (**Universal Matrix of Risk Analysis** [5]).

2 Popis postupu hodnocení existujících konstrukcí dle ČSN ISO 13822

Norma ČSN ISO 13822 [1] se zabývá hodnocením existujících konstrukcí. V této kapitole je obecný postup hodnocení dle této normy a jsou popsána nebezpečí spojená s hodnocením existujících konstrukcí.

2.1 Účel hodnocení

V první fázi se musí s objednatelem stanovit jednoznačný účel hodnocení požadované konstrukce na základě očekávání na její budoucí využívání, která vychází z následujících funkčních úrovní:

- a) odpovídající bezpečnost uživatelů;
- b) trvalá udržitelnost konstrukce, která bude zajišťovat nepřetržitou funkčnost speciálních konstrukcí (např. nemocnice, významné budovy a důležité mosty) při extrémních nebo nepředvídatelných událostech;
- c) speciální požadavky na funkční vlastnosti týkající se ochrany vlastnictví (ekonomických ztrát) nebo použitelnosti. [1, str. 10]

Zdroje nebezpečí

Objednatel musí stanovit jednoznačný požadavek na budoucí využívání konstrukce, specifikovat svá očekávání na vlastnosti konstrukce. Předpokládá se, že objednatel nebude technicky vzdělaný, proto je nebezpečí ve špatném nebo neúplném zadání požadavků. Pokud bude na počátku hodnocení stanovený chybný účel hodnocení, pak následující kroky budou touto chybou zatíženy. Je tedy důležité, aby komunikace mezi jednotlivými aktéry fungovala. Zhotovitel chybně vyhodnotí zadaný účel hodnocení. Objednatel opomene důležitý aspekt budoucího využití konstrukce, se kterým zhotovitel nepočítá. Například může dojít k hodnocení jiných částí konstrukce nebo navržená opatření, která vzhledem k jinému využití konstrukce mohou být nedostatečná. V obou případech nebude hodnocení konstrukce odrazem reality a tak se zvýší pravděpodobnost poruchy konstrukce.

Opatření

Realizátor by měl postupovat tak, aby objednatel, tedy technický laik, měl co nejlepší představu o důležitých působeníh na konstrukci a mohl realizátorovy zakázky dát co nejpresnější požadavky na budoucí funkční způsobilost. V případě nestandardních požadavků by měl realizátor objednatele informovat o odlišnostech od standardu, aby se předešlo

budoucím nesrovnalostem, především finančním potažmo právním. Veškeré jednání by mělo být dokumentováno, aby v budoucnu nedocházelo ke komplikaci s dokazováním. Návrh by měl být v souladu s ČSN EN 1990 [6].

2.2 Postup

Postup se stanoví dle požadavků objednatele na budoucí využívání konstrukce a na speciálních okolnostech (např. na dostupnosti projektové dokumentace, na zjištěných škodách, na způsobu využívání konstrukce, atd.). Realizátor by měl před zahájením hodnocení stavbu prohlédnout.

Zdroje nebezpečí

V případě špatného postupu, nevytvoření postupu nebo nerespektování vytvořeného postupu může dojít k opomenutí důležitého kroku, nepřehlednosti, složitější kontrole, špatné návaznosti mezi jednotlivými kroky a tudíž i k časovým prodlevám mezi jednotlivými kroky, které povedou k nepředpokládaným finančním výlohám.

Opatření

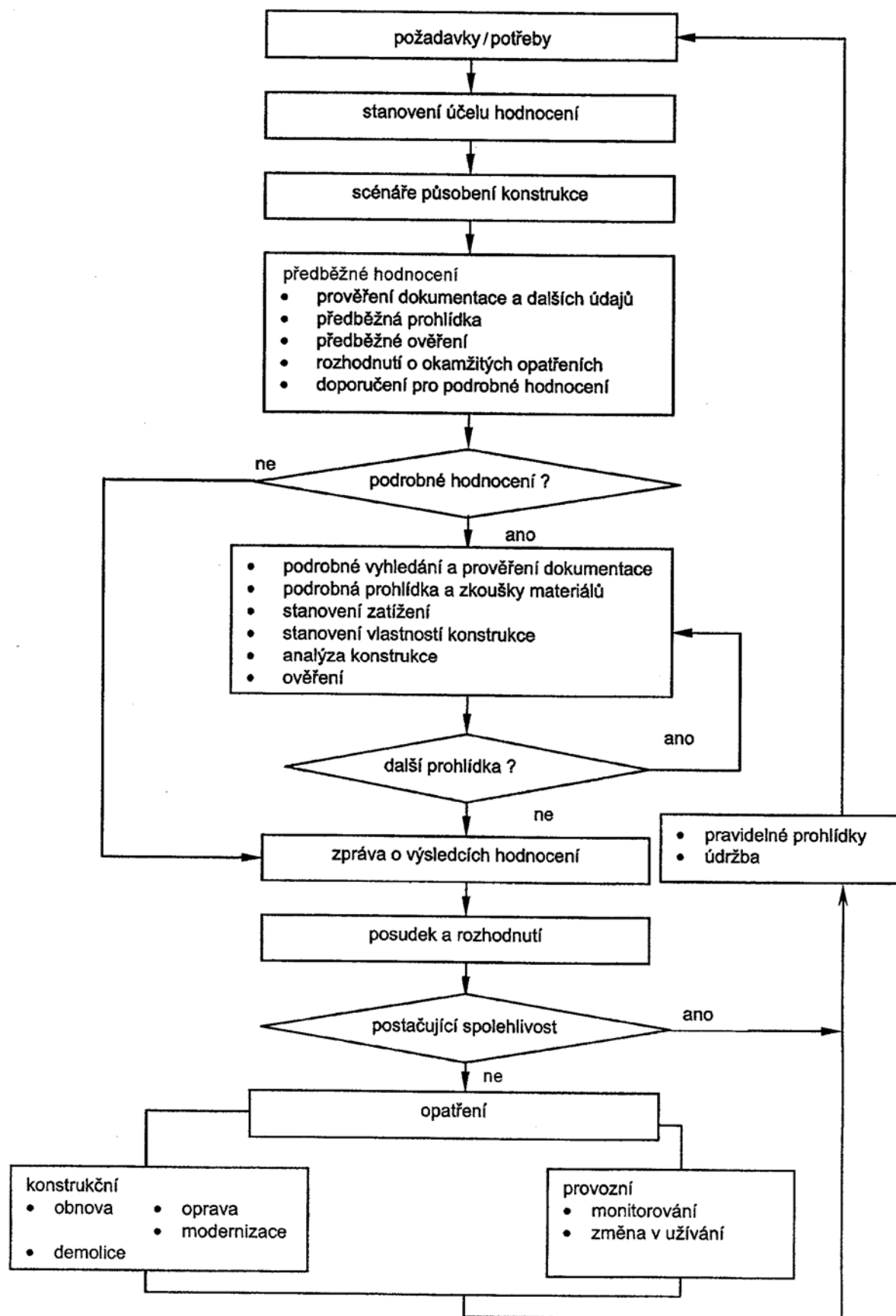
Stanovení jasného a přehledného postupu, který bude sloužit i jako obsah pro případnou kontrolu. V ideálním případě postup, který je již prověřený nebo se držit obecného postupu stanoveného v ČSN ISO 13822 příloze B [1, str. 19] (Obr. č. 1, str. 14).

2.3 Scénáře

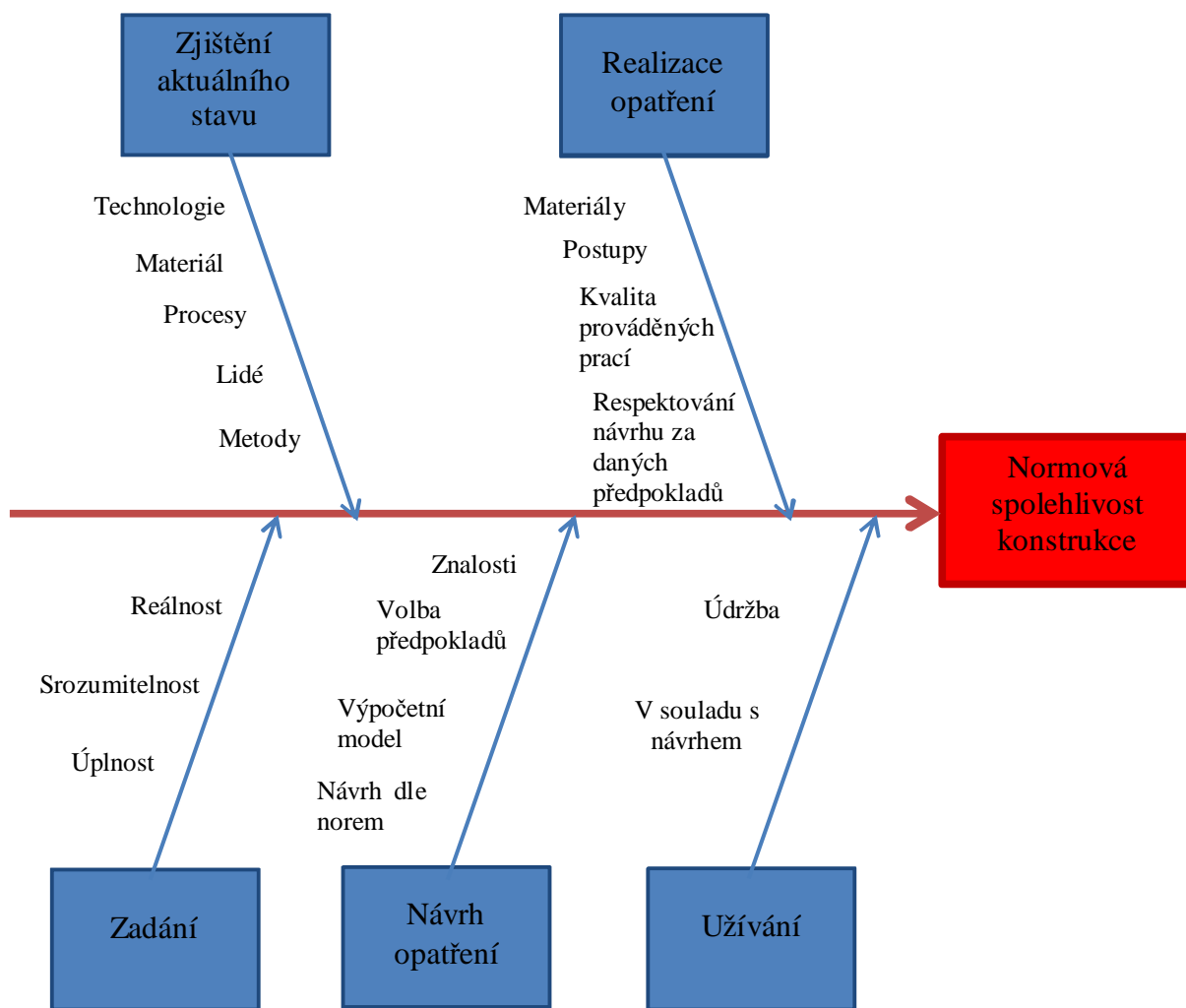
Určí se scénáře související se změnou konstrukčních podmínek nebo zatížením na konstrukci, tak aby se identifikovali možné kritické situace. Základem pro hodnocení konstrukce a návrh opatření je identifikace scénářů, které zajistí bezpečnost a použitelnost konstrukce. [1, str. 11]

Zdroje nebezpečí

Zde musí být kladen důraz na identifikaci všech rizikových faktorů, nesmí dojít k opomenutí žádných důležitých kroků. Nesmí být zanedbány zatížení nebo jejich kombinace, které významně konstrukci ovlivňují. Ale zároveň při velkém množství scénářů, může dojít k chybám kvůli nepřehlednosti.



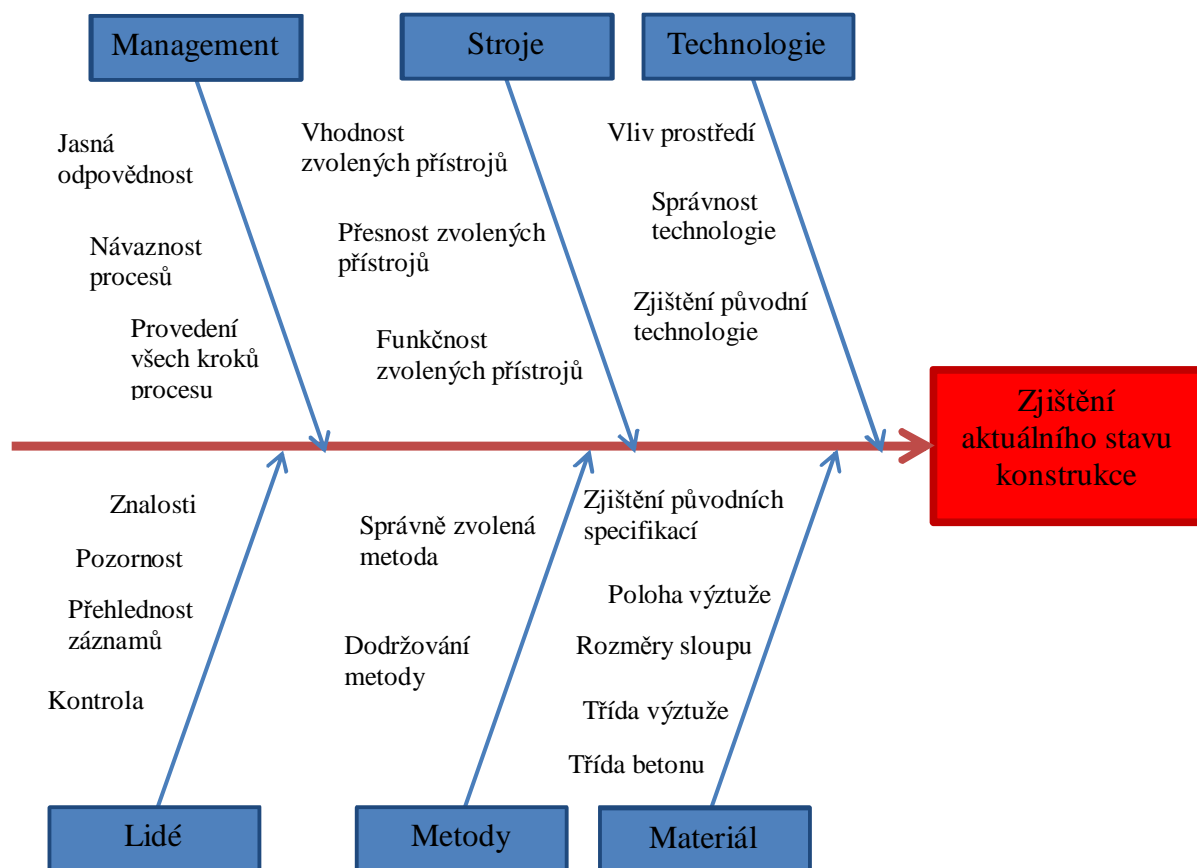
Obr. č. 1 - Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [1, str. 19]



Obr. č. 2 – Ishikawův diagram na normovou spolehlivost konstrukce

Opatření

Dostatečné prostudování a pochopení chování konstrukce nejen s ohledem na její budoucí využití, ale i s ohledem na aktuální bezpečnost a průběh provádění opatření, kde se vlivy zatížení budou měnit. Důležitá je spolupráce a koordinace mezi jednotlivými obory. Obr. č. 2 a 3 zobrazuje Ishikawův diagram [5] s častými rizikovými faktory, které ovlivňují budoucí funkční způsobilost konstrukce.



Obr. č. 3 – Ishikawův diagram: Zjištění aktuálního stavu konstrukce

2.4 Předběžné hodnocení

2.4.1 Studium dokumentace a dalších údajů

Nezbytné pro hodnocení existující konstrukce je vyhledání projektové dokumentace a zpráv z prohlídek, které mohou obsahovat důležité informace. Musí být provedena kontrola aktuálnosti dokumentace. Dále se musí zdokumentovat všechny významné vlivy prostředí (např. extrémní zatížení, změny v základových poměrech, koroze a další), které by mohly vést ke změně stavu konstrukce. [1, str. 11]

Zdroje nebezpečí

Neaktuální projektová dokumentace, která může v případě nepřekontrolování významně ovlivnit úsudek o konstrukci. Následné kroky v hodnocení mohou být neadekvátně zvoleny vzhledem k realitě.

Opatření

Vždy by měla po zajištění dokumentace následovat její kontrola zda odpovídá skutečně provedenému stavu. V případě absence nebo její neaktuálnosti se provede stavebně technický průzkum v požadovaném rozsahu.

2.4.2 Předběžná prohlídka

Vizuální prohlídkou a použitím jednoduchých nástrojů se stanoví aktuální stav konstrukce. Pozornost se věnuje se např. vlastnostem povrchu, viditelným deformacím, trhlinám, odprýskávání, korozi, a dalším. Podle zjištěného poškození konstrukce se provede její kvalitativní zatřídění (např. žádné, menší, mírné, závažné, destruktivní, neznámé). [1, str. 11]

Zdroje nebezpečí

Zanedbáním předběžné prohlídky si nemůže hodnotitel vytvořit správnou představu o aktuálním stavu konstrukce. Jakákoliv rozhodnutí bez vizuální znalosti konstrukce budou s největší pravděpodobností chybná. Jednoznačně nemůže dojít ke správnému plánování dalších kroků hodnocení konstrukce.

Opatření

Předběžná prohlídka by měla vždy proběhnout, není možné ji zanedbat. Hodnotitel by měl získat rámcovou představu o únosnosti posuzované konstrukce vykonáním základních předběžných diagnostických úkonů jako je například vryp do konstrukce, kterým se zjistí soudržnost krycí vrstvy. Dalším úkonem může být akustické trasování lidově “oklepání” konstrukce a poslech změny frekvence zvuku, čímž se ověří celistvost a stejnorodost konstrukce, případně se odhalí vedení kanalizace, vody nebo elektřiny. Na základě výstupu předběžné prohlídky bude rozhodnuto o nutnosti provedení prohlídky podrobné.

2.4.3 Předběžná ověření

V této fázi probíhá identifikace kritických nedostatků konstrukce vzhledem k budoucí bezpečnosti a použitelnosti konstrukce, na které je nutno se zaměřit při dalším hodnocení. Na základě aktualizovaných informací o konstrukci se rozhodne, zda je další průzkum nutný či nikoliv. [1, str. 11]

Zdroje nebezpečí

Chybná identifikace kritických nedostatků, která může vést ke snížení budoucí bezpečnosti nebo ke sníženému komfortu užívání konstrukce. Při posouzení kritických nedostatků, které

jsou ve skutečnosti nedostatky nekritickými, může vést k prodražení následujících kroků hodnocení a opatření.

Opatření

Na předběžná ověření by měl být kladen velký důraz. V konstrukci se musí uvážit všechny projevy poruch (např. trhliny, koroze, soudržnost). Také ověření stárí jednotlivých částí konstrukce a zvážení změn působení zatížení v čase jsou cennými zdroji o konstrukci.

2.4.4 Rozhodnutí o okamžitých opatřeních

Jestliže předběžná prohlídka a/nebo předběžné ověření jasně ukazují na potenciálně nebezpečný stav konstrukce, je nutné oznámit tuto skutečnost objednateli a provést opatření ke snížení nebezpečí s ohledem na bezpečnost veřejnosti. Pokud jsou nejistoty o stavu části konstrukce, mají se okamžitě určit a provést nezbytná opatření. [1, str. 11]

Zdroje nebezpečí

Podcenění a/nebo špatné vyhodnocení nebezpečí ze strany hodnotitele, může vést k nedostatečnému návrhu opatření. Dalším nebezpečím je nerespektování návrhu opatření ze strany objednatele a tedy neuskutečnění opatření v rozsahu navrženém hodnotitelem.

Opatření

Vyjde-li z předběžné prohlídky pochybnost o setrvání konstrukce v aktuálním stavu, musí se přijmout opatření, která prodlouží životnost konstrukce do její zevrubné analýzy o následném rozhodnutí o způsobu sanace. Způsob se určí dle konkrétní situace, například to může být snížení zatížení působící na konstrukci, provizorní podepření ohrožených úseků, zamezení přístupu nepovolaných osob a další. V krajním případě může být nařízená demolice konstrukce.

2.4.5 Doporučení pro podrobné hodnocení

Pokud se z předběžného ověření zjistí, že konstrukce je vzhledem k požadované zbytkové životnosti spolehlivá, nebo jsme jasně určily konkrétní závady konstrukce, můžeme brát předběžné hodnocení jako dostatečné a nevyžadovat hodnocení podrobné. Podrobné hodnocení se doporučuje provést, pokud jsou nejistoty v zatíženích, jejich účincích nebo ve vlastnostech konstrukce. [1, str. 12]

Zdroje nebezpečí

Zavádějící výsledky předběžné prohlídky a neuskutečnění prohlídky podrobné. Zanedbání nejistot o konstrukci a spoléhání se na předpoklady o chování konstrukce. Podlehnutí tlaku na rychlost a na nízké náklady hodnocení.

Opatření

Vyhodnocení a doporučení by měli zpracovávat experti provádějící předběžná ověření. Závěry hodnotitelů by měli vycházet z objektivních dat zjištěných z předběžné prohlídky. Hodnotitelé se nesmí nechat ovlivnit tlakem finančním, časovým ani emocionálním. Pokud jsou data neúplná nebo neprůkazná musí doporučit podrobnou prohlídku.

2.5 Podrobné hodnocení

2.5.1 Podrobné vyhledání a prověření dokumentace

Pokud existuje, doporučuje se prověřit následující dokumentace:

- Výkresová dokumentace, specifikace materiálů, statický výpočet, stavební deník, záznamy o změnách, prohlídkách a údržbě;
- Předpisy, zákonná ustanovení, prováděcí předpisy a normy, podle kterých se konstrukce stavěla;
- Topografie, základové podmínky a úroveň hladiny podzemní vody v místě konstrukce. [1, str. 12]

Zdroje nebezpečí

Zajištění nesouvisejících podkladů s konkrétní konstrukcí, případně zajištění nevěrohodné dokumentace. Následkem by byla špatná představa o konstrukci a z toho vycházejí případná nebezpečí. Zvláště se musí ověřovat některá specifika doby výstavby jako je například použití hlinitanového cementu (výstavba 1930-1950) do betonové směsi, který má za následek tzv. “spálení” betonu. Takové konstrukce se zpravidla demolují.

Opatření

Tímto krokem by se měli zpřesnit údaje zjištěné při předběžném hodnocení a zpracovat do existující dokumentace. Je to příprava na podrobnou prohlídku s aktualizovanou dokumentací z předběžné prohlídky. Stanovení očekávaných nebezpečí konstrukce vlivem doby výstavby.

2.5.2 Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů

Pokud není důvod k pochybnostem o projektové dokumentaci, můžeme z ní zjistit vlastnosti konstrukce, její rozměry, konstrukční detaily a materiálové specifikace. Pokud existují jakékoliv pochybnosti, stanoví se vlastnosti konstrukce, její rozměry, konstrukční detaily a materiálové specifikace z podrobné prohlídky a zkoušek materiálů. Podrobná prohlídka se naplňuje z již dostupných informací. Jako výstup podrobné kvantitativní prohlídky jsou aktualizované hodnoty nebo pravděpodobnostní rozdělení pro příslušné parametry ovlivňující vlastnosti konstrukce. [1, str. 12]

Zdroje nebezpečí

Vycházení z původní projektové dokumentace, která se liší od skutečnosti a následné vytváření závěrů bez reálných dat. Neuvážení rozdílných rozměrů v odlišných místech konstrukce. Neuvážení degradačních vlivů působících na konstrukci během její životnosti. Špatně určená betonářská výztuž na základě vizuálního zatřídění. Zvolení nevhodné metody pro zkoušky materiálu, která nebude odrážet skutečný stav konstrukce, jako je například použití tvrdoměrné zkoušky na degradovaném povrchu betonu. Další nebezpečí spočívá ve snížení spolehlivosti hodnocené konstrukce vlivem zkoušek. Největší nebezpečí vidím v použití nevhodné, i když platné normy ČSN EN 13791 [7], která nadhodnocuje třídu betonu. Pro větší představivost uvedu ilustrativní příklad v Tab. č. 1.

Z Tab. č. 1 na str. 22 je viditelné, že norma ČSN ISO 13822 [1] zatřídila pevnost betonu dle EN 206 [8] do třídy C 30/37, tedy charakteristická pevnost v tlaku $f_{ck}=30$ MPa. Přičemž dle normy ČSN EN 13791 [7] je třída betonu C 35/45, potom charakteristická pevnost v betonu $f_{ck}=35$ MPa. Vidíme tedy výsledný rozdíl v charakteristické pevnosti betonu 5MPa. Tyto rozdíly v pevnosti mohou být i o více tříd. U konstrukcí přesně navržených, nebo u konstrukcí lehce poddimenzovaných s uvažováním degradace v čase, může nadhodnocení normou ČSN EN 13791 [7] vést k milným předpokladům o únosnosti konstrukce.

Tab. č. 1 – Vyhodnocení třídy betonu [9]

1. Popis vývrtu:

Průměr: 75 mm	Délka: 250 mm	Zákl. charakteristika: obyčejný hutný
Kamenivo: Těžené	Odhad frakce: 0-16 mm	Max. velikost, tvar: 25 mm, 20%, Index>3
Póry (mm): 5 mm	Dutiny (mm): 10 mm	Pórovitost: málo pórovitý
Výztuž: ø 16 mm, žebírková 10512, c=50mm	Směr výztuže: kolmý k ose	

2. Pevnost v tlaku tělesa, přepočít na krychelnou pevnost v tlaku:

Označení tělesa	Průměr d [mm]	Délka L [mm]	Hmotnost m_r [g]	Objem. hm. D_r [kg/m ³]	Max. síla F [kN]
1	75	72,73	727,2		189
Štíhlost $\lambda=L/d$	Koef. $\kappa_{c,cyl}$ štíhlosti	Koef. $\kappa_{c,cube}$ průměru	Pevnost $f_{c,cyl}$ [MPa]	Koef. $\kappa_{cyl,cube}$ válec - krychle	Pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
0,9697	0,8371	0,93	33,31	1,243	41,40

3. Krychelná pevnost v tlaku betonu získaná zkouškami vývrtů

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6
$f_{c,cube}$ [MPa]	41,40	58,31	44,21	52,56	48,43	49,71

4. Vyhodnocení charakteristické pevnosti v tlaku betonu dle ČSN ISO 13822

Veličina	jednotka	hodnota
Střední hodnota pevnosti m_x	[MPa]	49,10
Výběrová směr. odchylka s_x	[MPa]	6,01
Variační součinitel $V_x = s_x/m_x$	[MPa]	0,122
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n		2,18
Charakteristická pevnost $X_k = m_x(1-k_n \times V_x)$	[MPa]	36,04
Pevnostní třída podle EN 206		C 30/37

5. - Vyhodnocení charakteristické pevnosti v tlaku v konstrukci dle ČSN EN 13791

Veličina	jednotka	hodnota
Střední hodnota pevnosti $f_{m(n),is}$	[MPa]	49,10
Minimální hodnota pevnosti $f_{is,nejmenší}$	[MPa]	41,4
Krajní mez pro n = vzorků k	[MPa]	7
Charakteristická pevnost $f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$	[MPa]	42,1 *)
Charakteristická pevnost $f_{is,nejmenší} + 4$	[MPa]	45,4 *)
Pevnostní třída podle EN 206		C 35/45

Poznámka *): Rozhoduje menší hodnota.

Opatření

Pokud se vychází z věrohodné dokumentace odrážející realitu, pak je nutné uvážit stáří konstrukce a počítat s degradací vlastností použitých materiálů. Hodnocení materiálů by měl provádět zkušený diagnostik, který zná nebezpečí jednotlivých metod a hodnotících norem. Dále by měl provádět minimální počet zkoušek dle objemu konstrukce (Tab. č. 2). Rozměry konstrukce stanovit s ohledem na možnou nerovnoměrnost po výšce a/nebo délce konstrukce. Zatřídění jednotlivých výztuží musí vycházet z používaných prutů konkrétního období výstavby (Tab. č. 3). Zkoušky provádět dle platných norem (ČSN EN 12504-1 [10], ČSN EN 12504-2 [11], ČSN EN 12504-3 [12], ČSN EN 12504-4 [13]).

Tab. č. 2 – Minimální počet zkušebních míst podle objemu konstrukce [14, str. 28]

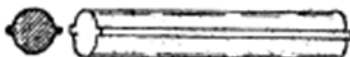





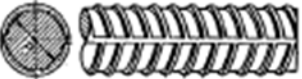


Objem betonu konstrukce v m ³	Minimální počet zkušebních míst <i>n</i> při předpokládané velikosti záměsi betonové směsi v m ³					
	0,06	0,30	0,60	1,00	3,00	6,00
1	16	16	16	16	16	16
2	24	16	16	16	16	16
5	39	16	16	16	16	16
10	52	24	16	16	16	16
20	64	35	24	16	16	16
50	72	52	39	31	16	16
100	72	64	52	44	24	16
200	72	70	64	53	35	24
500	72	72	72	68	53	39
700	72	72	72	71	58	45
1000	72	72	72	72	64	52
2000	72	72	72	72	70	64
4000 a více	72	72	72	72	72	70

2.5.3 Stanovení zatížení

Zatížení, zejména zatížení konstrukce vlivem prostředí, se určí dle ČSN ISO 2394 [15], musí se však přihlídnout k bezpečnostním opatřením. [1, str. 12]

Zatížení se musí stanovovat dle aktuálních platných norem a musí se uvážit, všechny změny v zatíženích, které vznikají při změně ve využívání nebo dispozičních změnách existující konstrukce. [1, str. 13]

Tab. č. 3 – Výřez tabulky tvarů betonářských výztuží dle ČSN 73 0038 [16, str. 26]

10 452	C		ČSN 41 0452 ČSN 42 5513
10 453	C _s		
10 472 (ISTEG)	I		
10 492 (TOROS)	T, Tor 30		ČSN 41 0492 ČSN 42 6560 ²⁾
10 512 (ROXOR)	R		ČSN 42 5537 ²⁾
10 513 (ROXOR)	R _s		
10 512 (LAROS)	L		
10 513 (LAROS)	L _s		
10 300	A – II ⁴⁾ R 30		ČSN 41 0300 ČSN 42 5538
10 400 10 400 A	R _s 40 A _s – III ⁴⁾		ČSN 41 0401 ČSN 42 5539
10 401 10 400 B	R 40 A – III ⁴⁾		
10 402	Tor 40 RK 40		ČSN 41 0402
11 373	EZ ³⁾		ČSN 41 1373 ČSN 42 5510
10 245	K		ČSN 41 0245 ČSN 42 5529

Existující konstrukce mohou být také ovlivňovány vlivy prostředí (např. fyzikální, chemické, biologické), které se musí uvážit. Dále se musí uvážit změny vlivu prostředí, které jsou vyvozeny změnou užívání konstrukce. [1, str. 13]

Pokud nejsou pochybnosti o platnosti výkresů a návrhových specifikací, může se podle nich stanovit zatížení a vlivy prostředí, na které byla konstrukce původně navržena. [1, str. 13]

Vlivy prostředí se stanoví v případě nejistoty na základě prohlídky, můžeme také stanovit některé druhy zatížení. [1, str. 13]

Může být důležité uvažovat se specifickými charakteristikami konstrukce, jejího okolí nebo sledovat působící zatížení, při určování zatížení a vlivů prostředí. Toto je důležité pro stanovování dlouhodobých a extrémních účinků, které nelze přímo měřit při shromažďování informací o zatíženích a vlivech prostředí. [1, str. 13]

Zdroje nebezpečí

Může plynout z neuvážení navrhovaných změn zatížení v důsledku změny užívání konstrukce, nebo podstatných vlivů působících na konstrukci (biologické, chemické, fyzikální, ...). Také je důležité správné určení zatížení dané pro místo stavby (vítr, sníh) a celkové hodnocení podle platných norem.

Opatření

Zatížení musí vždy odrážet aktuální stav (hodnocení), nebo stav budoucí (návrh). Zvažují se vždy všechny vlivy působící na konstrukci. Návrh nebo hodnocení konstrukce probíhá dle aktuálních platných norem (ČSN EN 1991-1-1 [17]).

2.5.4 Stanovení vlastností konstrukcí

Pokud není podrobná analýza, samotná prohlídka nebo další postupy dostatečně průkazné, či selhaly u prokazování dostatečné spolehlivosti konstrukce, použijí se k zjištění únosnosti a/nebo ke stanovení vlastností konstrukce zkoušky. [1, str. 12]

Vždy se musí prověřit, jestli není ovlivněna funkční způsobilost konstrukce geotechnickými podmínkami a podloží. [1, str. 14]

Zdroje nebezpečí

Vlivem zkoušek může dojít k nevratným deformacím konstrukce i konstrukcí přilehlých. V průběhu provádění dynamických zkoušek musí být zabráněno přístupu osob, které by svým pohybem mohli být v ohrožení.

Opatření

Zabránění přístupu osob v průběhu provádění zkoušek. Odborné posouzení konstrukce před začátkem dynamických zkoušek a následné zvolení vhodné techniky zkoušek a vyhodnocení, s přihlédnutím i ke konstrukcím přilehlým.

2.5.5 Analýza konstrukce

V souladu s normou ČSN ISO 2394 [15] se provede analýza konstrukce, tak aby se stanovily účinky zatížení na konstrukci. Při stanovení únosnosti nosných prvků konstrukce se přihlédne k její degradaci a účinkům zatížení na ni působící. Při zpozorování degradace existující konstrukce se její hodnocení stane časově závislý degrační jev, jak je popsáno v normě ČSN ISO 2394 [15], je tedy potřebné zvolit vhodnou metodu pro analýzu. Je podstatné porozumět příčinám poškození nebo neočekávaného chování konstrukce v případě její degradace. [1, str. 12]

Na základě modelů se určí funkční způsobilost konstrukce. Modely musí spolehlivě reprezentovat zatížení, chování konstrukce a únosnost jejích prvků. Podmínky existující konstrukce a skutečný stav mají být zachyceny ve výpočetním modelu. [1, str. 14]

V průběhu hodnocení se mají uvážit modelové nejistoty spojené s platností a přesností bud' tak, že použijí příslušné dílčí součinitele při deterministickém ověření, nebo se uplatní přídatná náhodná veličina v analýze spolehlivosti, která bude reprezentovat modelové nejistoty. [1, str. 15]

Musí se zvážit úroveň znalostí o stavu nosných prvků. V závislosti na typu konstrukce se toho dá dosáhnout zavedením předpokladů o proměnlivosti únosnosti prvků nebo proměnlivosti rozměrů jejich průřezů. [1, str. 15]

Zdroje nebezpečí

Budou-li vytvořeny modely, které nebudou vystihovat skutečnost, budou i předpoklady a výsledky milné. Dalším nebezpečím je posuzování mezních stavů dle neplatných norem. Mohou také být necitlivě uváženy modelové nejistoty, které povedou k velkým rozdílům od skutečnosti. Největším nebezpečím je chybně vyhodnocený mechanismus porušení, který by vedl k opakování poruchy.

Opatření

Práce v týmu odborníků s jasně stanovenou odpovědností a kontrolou. Posuzování a stanovování jednotlivých kroků v souladu s platnými normami (ČSN EN 1990 [6], ČSN EN 1991-1-1 [17], ČSN EN 1992-1-1 [3], ČSN EN 1993-1-1 [18]).

2.5.6 Ověření

Pro účel zabezpečení směrné úrovně spolehlivosti, která vyjadřuje požadovanou úroveň funkční způsobilosti, se provádí ověření existující konstrukce. Použít lze platné normy nebo normy rovnocenné s ČSN ISO 2394 [15], které jsou z hlediska dlouhodobého používání dostatečně spolehlivé. Jako informativní dokumenty se mají použít normy platné v době výstavby konstrukce. Při ověření se dá vycházet z dřívější uspokojivé způsobilosti konstrukce. [1, str. 10]

Při hodnocení únosnosti se musí uvážit zbytková životnost existující konstrukce, referenční doba, změny v prostředí konstrukce spojené s budoucím využíváním. K větším rozdílům ve spolehlivosti existující konstrukce vedou ekonomická a sociální hlediska, také trvalá udržitelnost, na rozdíl u konstrukcí nově navržených. [1, str. 10]

Musí se vycházet z koncepce mezních stavů a má se posuzovat mezní stav únosnosti i použitelnosti. Dá se provést ověření metodou dílčích součinitelů, ale i metodou teorie spolehlivosti s uvažováním působení nosného systému a duktility jeho prvků. [1, str. 10]

Dle prohlídky a zkoušek se mohou upravit dílčí součinitele, které jsou uvedené v současných normách (např. s ohledem na kvalitu práce zhotovitele, podmínky údržby a proměnlivou pevnost materiálů). [1, str. 10]

Kontrole věrohodnosti se podrobí závěry hodnocení, které musí vysvětlit nesoulad mezi výsledky hodnocení (např. bezpečnost je nedostatečná) a skutečným stavem (např. nejsou známky přetížení nebo porušení, nosná způsobilost konstrukce je uspokojivá). [1, str. 10]

Z osvědčených a platných norem se mohou vzít kritéria přijatelnosti pro ověření směrné úrovně spolehlivosti konstrukce. Kritéria přijatelnosti se musí stanovit s přesně definovanými funkcemi mezních stavů a se specifickými modely základních veličin. [1, str. 10]

Lze také určit směrnou úroveň spolehlivosti s ohledem na požadovanou úroveň funkční způsobilosti konstrukce, na referenční dobu a možné následky poruchy. Pokud je zdůvodněno, pak se na základě sociálně-ekonomických hledisek, může použít nižší úroveň směrné spolehlivosti, pro existující konstrukce. [1, str. 10]

Zdroje nebezpečí

Nedostatečné zabezpečení úrovně funkční způsobilosti, které může vést ke zkrácení doby životnosti nebo použitelnosti konstrukce oproti předpokladu. Dále dosažením vyšší spolehlivosti v hodnocení, které bude oproti realitě nadhodnocené, se může špatně zvolit využívání konstrukce v čase s uvažováním degradace. Pokud se vychází z dřívější uspokojivé způsobilosti konstrukce, je nebezpečí neuvážení případné změny ve způsobu užívání konstrukce.

Opatření

Používání platných norem nebo norem rovnocenných s ČSN ISO 2394 [15], dále použití dřívějších norem jako informativní zdroj sloužící pro rámcovou kontrolu. Při ověřování brát v úvahu všechny vlivy, které na konstrukci působí nebo mohou působit. Co možná nejvíce odhadnout ekonomická a sociální hlediska, která budou mít vliv na budoucí způsob údržby konstrukce a tedy budou prodlužovat nebo zkracovat dobu životnosti konstrukce. V případě zjištění nedostatečného hodnocení může být nařízena další prohlídka, která povede ke zpřesnění nebo doplnění chybějících informací o konstrukci. Posouzení musí být v souladu

s platnými normami (ČSN EN 1990 [6], ČSN EN 1991-1-1 [17], ČSN EN 1992-1-1 [3], ČSN EN 1993-1-1 [18]).

2.6 Výsledky hodnocení

2.6.1 Zpráva

Musí být vytvořena zpráva o výsledcích hodnocení. Každá pracovní etapa obvykle vyžaduje vypracování zprávy po jejím ukončení. [1, str. 13]

Mají se stanovit jasné závěry dle účelu hodnocení s uvážením funkčních požadavků a scénářů. Závěry musí vycházet z pečlivého hodnocení spolehlivosti konstrukce a nákladů na opatření, dále s ohledem na bezpečnost veřejnosti, ochrany konstrukcí a nákladů na údržbu. [1, str. 16]

Účel hodnocení, identifikace zpracovatele, popis konstrukce, metody, výsledky hodnocení, všechny informace získané při hodnocení, případně jsou-li nezbytné další kroky, mají se do zprávy pro objednatele zapsat. [1, str. 17]

Zpráva musí být především výstižná, jasná a přehledná. [1, str. 17]

Zdroje nebezpečí

Nevypracování zprávy se zahmutím všech zjištěných informací. Také zkreslení, nevhodná forma zprávy výsledků hodnocení, která objednatelé uvede při realizaci opatření v mylné předpoklady.

Opatření

Přehlednost zprávy s jasnými a jednoznačnými závěry vyplývajícími z hodnocení. V případě nejasností by měl zpracovatel objednateli poskytnout vysvětlení. Pokud má zpracovat pochybnost o přehlednosti a rozsahu zprávy může se držet struktury zprávy z ČSN ISO 13822 přílohy G.

2.6.2 Koncepční návrh konstrukčních opatření

V případě prokázání nedostatečné bezpečnosti nebo použitelnosti konstrukce se na základě výsledků hodnocení doporučí konstrukční opatření oprav nebo modernizace konstrukce, které jsou v souladu s účelem hodnocení pro zbytkovou životnost. [1, str. 13]

Zdroje nebezpečí

Návrhy opatření nebudou v souladu se zjištěním hodnocením a/nebo nebudou pro objednatele dostupná. Z toho hrozí, že se návrh opatření zanedbá a/nebo nebude odpovídat účelu hodnocení.

Opatření

Vždy se při zjištění nedostatečné spolehlivosti musí stanovit návrh opatření a to z ohledem na zbytkovou životnost a účel hodnocení. Návrh opatření by měl být finančně i technologicky realizovatelný úměrně posuzovanému objektu.

2.6.3 Řízení rizik

U některých případů může být vhodným přístupem vůči konstrukčním opatřením řízení nebo snížení rizik. V rámci opatření snížení rizik můžeme například omezit zatížení, změnit způsob využívání konstrukce, zavedení monitorování provozu a kontrolní režim. [1, str. 13]

Zdroje nebezpečí

Neodborná riziková analýza může vést k nevhodným opatřením. Například zásah do zatížení, především jejich rozmístění po konstrukci, může i při snižování paradoxně v určitých situacích vyvolat vyšší výsledné kombinace zatížení.

Opatření

Analýza rizik musí vždy vycházet z reálného stavu a musí být odborně zpracována. Například změna využívání konstrukce musí být volena se znalostí zatížení vytvářených jednotlivými provozy. Změna rozmístění a velikost zatížení musí být posouzena statikem.

2.7 Posudek a rozhodnutí

2.7.1 Rozhodnutí

Konečné rozhodnutí o opatřeních provede objednatel na základě konzultací s příslušným úřadem. Rozhodnutí se bude opírat o posudek a doporučení uvedená v závěrečné zprávě, s uvážením všech dostupných informací. Zpracovatel posudku má zákonnou povinnost informovat příslušný úřad, jestliže se objednatel v odpovídající době nevyjádří k okolnostem týkající se bezpečnosti veřejnosti. [1, str. 17]

Zdroje nebezpečí

Konečné rozhodnutí o opatřeních bude v rozporu se závěry odborného posudku, bez zvážení všech dostupných informací nebo se zanedbají okolnosti týkající se bezpečnosti veřejnosti.

Opatření

V ideálním případě je konečné rozhodnutí o opatřeních konzultováno s hodnotitelem a příslušnými úřady.

2.7.2 Změna užívání

Jestliže je po dokončení hodnocení uvedena významná změna ve způsobu užívání konstrukce, pak se platnost navržených doporučení, uvedených ve zprávě, ruší. [1, str. 17]

Zdroje nebezpečí

Objednatel bez konzultace s hodnotitelem provede významnou změnu v užívání hodnocené konstrukce a nadále bude vycházet ze závěrů hodnocení.

Opatření

Pokud objednatel změní způsob užívání konstrukce, musí být informován, že závěry hodnocení nejsou platné a nechat vypracovat posouzení nové.

3 Zesilování železobetonových konstrukcí

V rámci diplomové práce je řešeno zesílení železobetonového sloupu. Zesilování konstrukcí obecně reaguje na nevyhovující současný stav nebo na stav v budoucnu plánovaný.

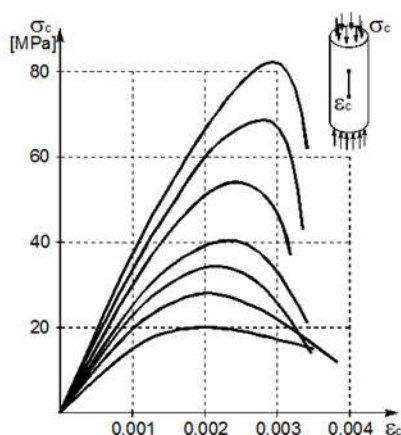
Možností zesilování konstrukcí je více, jako například obetonování, použití výztuží na bázi uhlíkových vláken, využití předpínacích lan a další. Tato práce se bude zabývat zesílením pomocí ocelové bandáže, která má výhodu v nízké hmotnosti v porovnání s obetonováním, malých zásazích do konstrukce a rychlosti provádění.

V této kapitole budou popsány stavy napjatosti, jejich předpoklady a přechod mezi nimi. Dále budou popsány jednotlivé prvky ocelové bandáže a její výpočet podle uvedených vztahů.

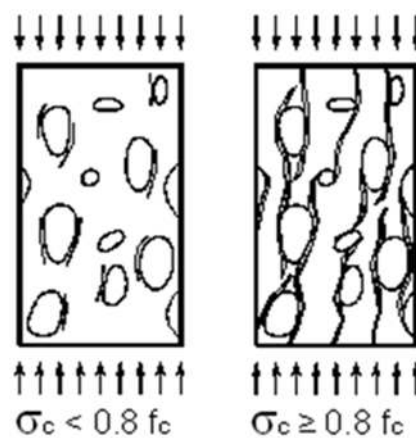
3.1 Jednoosá napjatost

Nelinearita skutečných pracovních diagramů na obr. č. 4 je způsobena křehkostí betonu zapříčiněnou spojením kameniva a cementového tmelu. Již při relativně nízkých napětích vniká na rozhraní těchto materiálů mikrotrhlina zapříčiňující změkčení betonu, které se projeví zaoblením pracovního diagramu. Nevratná přetvoření jsou tedy způsobena porušením krystalické mřížky, přičemž dojde k nevratnému porušení vnitřní struktury. Z obr. č. 5 je vidět, že zvyšováním tlakového napětí se mikrotrhlina rozšiřují a spojují. [19, str. 12]

Na obr. č. 6 můžeme vidět lineární oblast označenou jako I. Další tzv. kvazielastická oblast, označena jako II, zobrazuje fázi tvorby mikrotrhlin. Odchylky od lineárního chování této fáze závisí na velikosti mikrotrhlin a jsou relativně malé. Pokud se zatížení zvýší nad 80% pevnosti betonu v tlaku, začnou se výrazně projevovat nelineární podélné i příčné deformace,

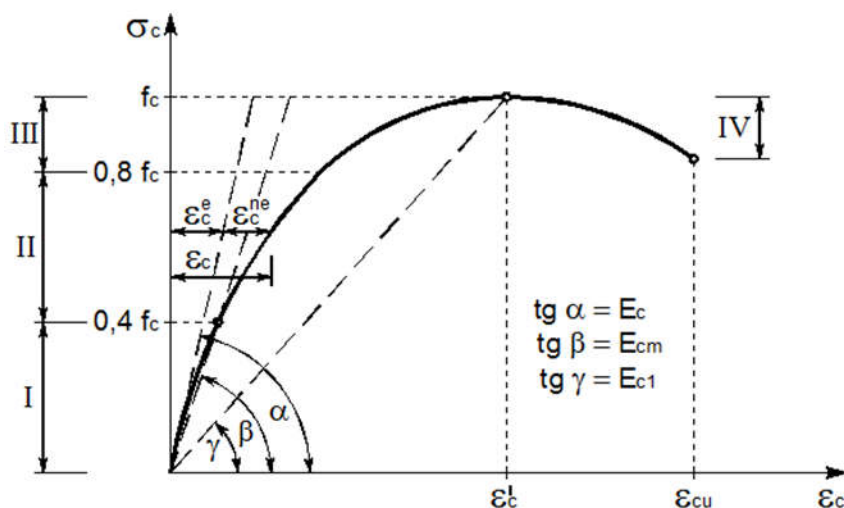


Obr. č. 4 – Ukázky skutečných pracovních diagramů betonu v tlaku [19, str. 12]



Obr. č. 5 – Rozvoj trhlin v betonu namáhaném jednoosým tlakem [19, str. 12]

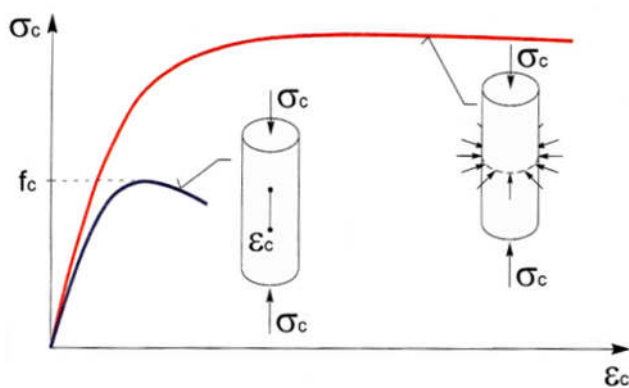
tato oblast je označena III a je oblastí zpevnění. Poslední fází je tečení materiálu, značena IV, vzniká při napětí blízké se pevnosti materiálu. Beton se v důsledku šíření trhlin rozdělí na samostatné sloupky, které působí samostatně a jsou namáhány nerovnoměrně. Příčná tahová napětí ke směru působícího tlaku vedou k oslabení betonu, naopak příčný tlak zvýší pevnost betonu. [19, str. 13]



Obr. č. 6 – Pracovní diagram betonu [19, str. 13]

3.2 Trojosá napjatost

Pro zvýšení pevnosti betonu je tedy důležité, omezit příčné tahové deformace a vnést do betonu příčný tlak, jak bylo uvedeno v předchozím bodu. Vnesením příčného tlaku se zabrání šíření trhlin a nevytvoří se tak samostatně působící sloupky. Jednotlivé sloupky jsou přitlačeny k sobě, čímž se zvýší tření mezi nimi a tím nedojede k usmyknutí. Dále se prodlouží plastická část pracovního diagramu a tím beton získá vyšší kapacitu přetvoření. Je tedy zapotřebí vyvodit více energie k porušení prvku. Příčnou výztuží, která obepne prvek a zabrání nadměrným příčným deformacím, lze vytvořit trojosou napjatost. [19, str. 14]



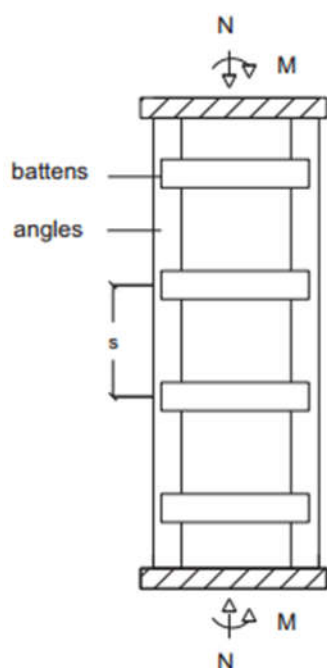
Obr. č. 7 – Účinek příčného tlaku na pracovní diagram betonu [19, str. 14]

3.3 Ocelová bandáž

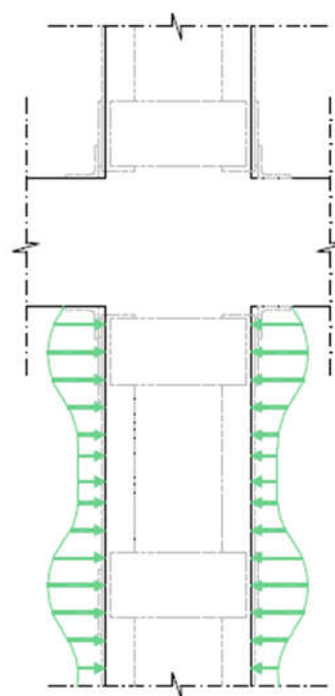
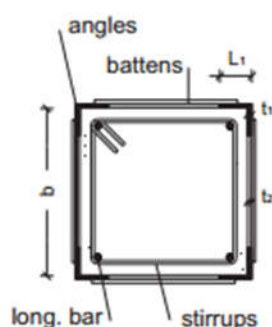
Ocelová bandáž se skládá z podélných úhelníků (angles) a z příčných pásků (battens) k nim přivařených.

3.3.1 Podélné úhelníky

Podélné úhelníky se připevňují na zesilovanou konstrukci jako první. Vkládají se do cementové nesmršťující malty o tloušťce cca 10mm. Po uložení do malty se zafixují do plánované polohy pomocí svěráků.



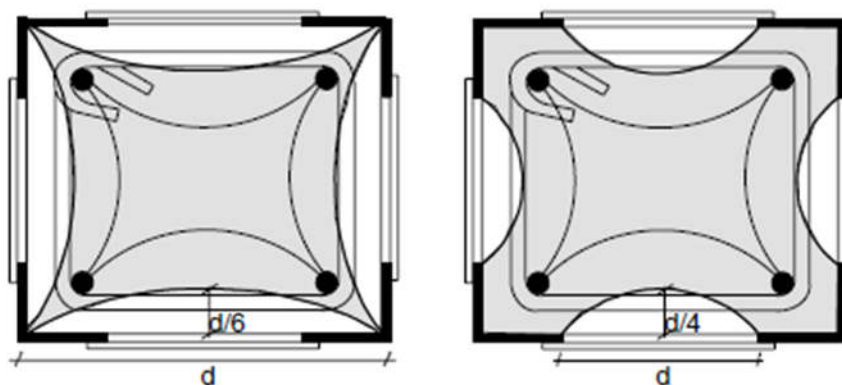
Obr. č. 8 – Ocelová bandáž žb. sloupu [20, str. 801]



Obr. č. 9 – Průběh napětí po délce prvku [21, str. 4072]

Jejich funkcí je přenést příčné tlakové zatížení od příčných pásků do zesilovaného sloupu a tím sevřít tvořící se nebo již vytvořené podélné trhliny ve sloupu. Příčné tlakové napětí je tedy největší v oblasti příčných pásků a po délce svírané konstrukce kolísá, jak je zobrazeno na obr. č. 9. Tento problém se dá vyřešit redukcí, ve výpočtech se uvažuje s napětím působícím mezi příčnými pásky.

Sevření není na celé ploše svírané konstrukce jak je vidět na obr. č. 10. Na obrázku jsou vidět dva přístupy, levý zobrazuje původní teoretický předpoklad o sevření a pravý byl stanoven na reálných zkouškách, čímž upřesnil původní předpoklad. Šedá barva na obrázku prezentuje sevřenou část průřezu a bílá zobrazuje oblast působení jednoosé napjatosti.



Obr. č. 10 – Oblast působení sevření [22, str. 7]

3.3.2 Příčné pásy

Příčné pásy se připevňují k podélným úhelníkům postupně. Nejprve jsou jednostranně přivařeny, poté se nahřejí plamenem a nakonec je přivařena i druhá strana. Tento fázový postup je z důvodu využití tepelné roztažnosti oceli, pomocí které se dosáhne vnesení příčného tlaku do sloupu. Příčný tlak následně zajistí přechod z jednoosé napjatosti na trojosou. Pokud by aktivace pásků byla chybná, byla by funkce pásků pouze stabilizační pro podélné úhelníky. V tom případě by se nedalo počítat s předpokladem sevřeného betonu, ale jen s původní jednoosou napjatostí a přidanou obálkou, která by měla několikanásobně nižší přetvoření než přechod na trojosou napjatost.

Teplota, jakou se mají nahřívat příčné pásy, vychází z geometrie a konstrukčních vlastností konkrétního zesilovaného prvku, ovšem maximální teplota je omezena pevností oceli na mezi kluzu, která je použita na příčné pásy a lze vypočítat ze znalosti teplotní roztažnosti materiálů podle vztahu:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Poté se ze vztahu poměrného přetvoření vyjádří teplotní rozdíl:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow \Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha} \quad (2)$$

Finální vzorec teploty potřebné k ohřátí pásků dostaneme ze znalosti Hookova zákona:

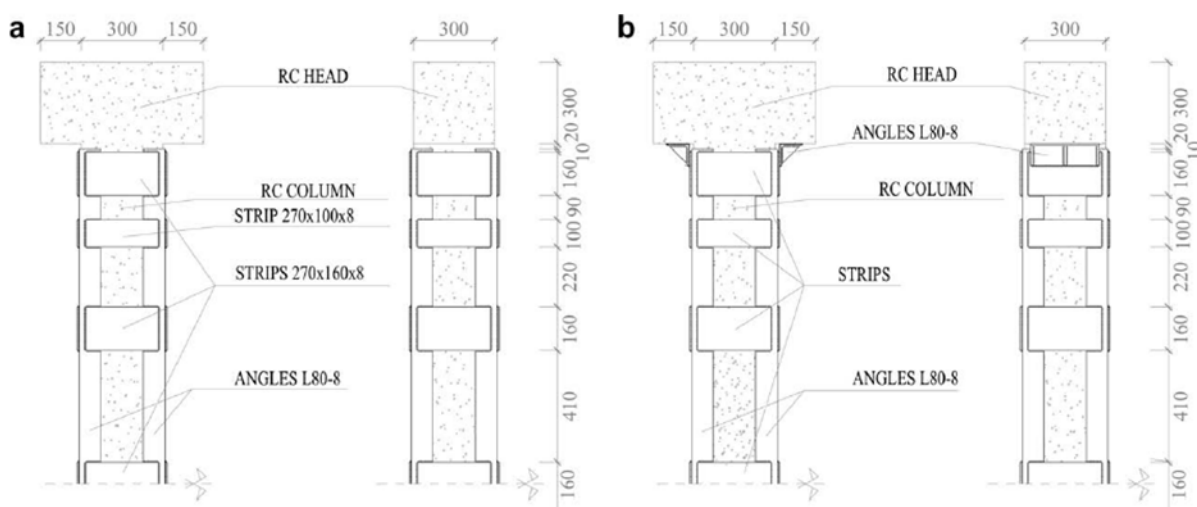
$$\sigma = \varepsilon \cdot E \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

$$\Delta T = \frac{f_{yd}}{E \cdot \alpha} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

Vypočtená teplota se při realizaci musí dodržet, jinak hrozí vytvoření nedostatečného příčného tlaku a tím nižší pevnost sevřeného betonu oproti předpokladu. Teplota se dá kontrolovat například příložným teploměrem nebo barevnými značkami, které reagují na změnu teploty změnou barvy.

3.3.3 Úprava hlavy a paty sloupu

Je možné mít dva přístupy. První nevyžaduje žádnou úpravu a počítá pouze s přenosem sil pomocí tření mezi zesilovanou konstrukcí a ocelovou bandáží. Druhá možnost je vytvoření roznášecí plochy sloupu, například za pomoci úhelníků, která zajistí přímý přenos napětí do podélných úhelníků.



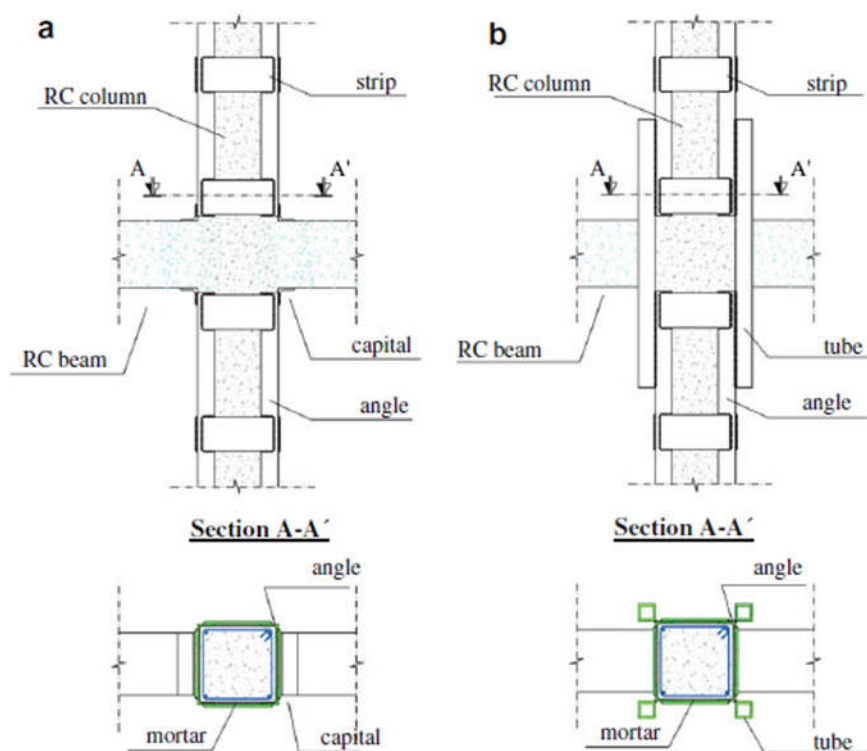
Obr. č. 11 – Úprava konců sloupu: a) bez úpravy b) úprava pomocí úhelníků [23, str. 4104]

Tímto problémem se zabýval tým E. Giménez [23]. Závěry potvrdily předpoklady, tedy první prvek bez úpravy (a) přenesl nižší napětí než sloup s úpravou na koncích pomocí úhelníků (b). Navíc u několika prvků s úpravou došlo k porušení uprostřed. Z výsledků také vyplivalo, že i přidáním malého množství oceli v oblasti konců se výrazně zvýšil přenos sil do podélných pásků a tím se zvýšila celková únosnost sledovaného sloupu.

Stejný tým, který prováděl zkoušky, tentokrát vedený P. A. Calderónem [21], přišel s dvěma variantami úprav hlavy a paty sloupu.

První byla použita v pokusech již zmíněných. Jednalo se o přivaření jedné stany úhelníku k podélným páskům a druhá strana se připevnila ke stropu do nesmršťující malty, respektive k podlaze.

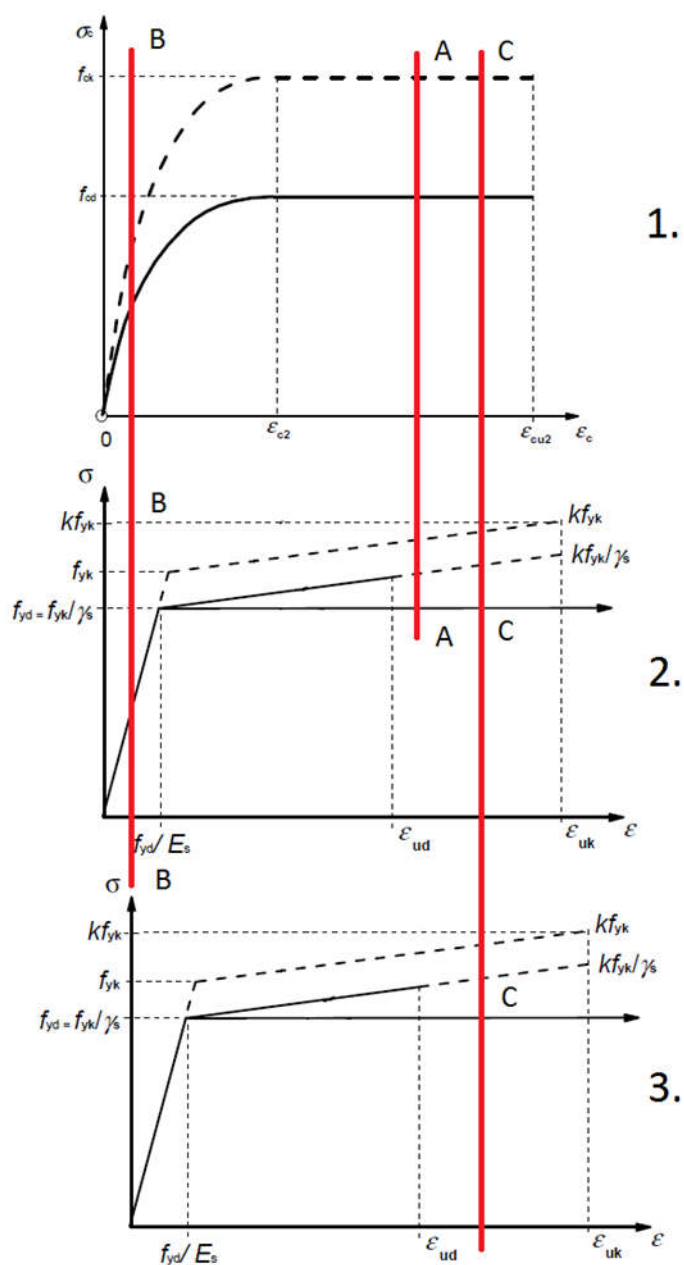
Druhá možnost spočívá v provrtání otvorů do stropní konstrukce a protažení tenkostěnných ocelových trubek, které se poté přivaří k rohu podélných pásků. J. M. Adam prokázal, že takový přenos je dostatečný a pokud je správně proveden, sloup selže v centrální části. Tento způsob má ovšem prostorové mínusy, například výrazné zvětšení půdorysné plochy zesilovaného sloupu vzhledem k první variantě. Problém u této varianty je také protažení přes stropní konstrukci, která má v oblasti sloupu zvýšený počet prutů výztuže.



Obr. č. 12 – Úprava konců sloupu: a) úhelníky b) tenkostěnné trubky [21, str. 4071]

3.4 Změny přetvoření v čase

Při zesilování se musí zohlednit změny zatížení. Konstrukce je v době původního užívání pod určitým provozním napětím (na obr. č. 13 označeno A), ale při zesilování toto provozní zatížení nepůsobí a zatížení stálé se může také měnit v závislosti na stavebních úpravách (na obr. č. 13 označeno B). Po zesílení konstrukce se předpokládá, že dojde k navýšení zatížení (na obr. č. 13 označeno C). Pokud by se konstrukce zesilovala z důvodu nevyhovující únosnosti pro současné zatížení, vrátilo by se i přetvoření do výchozího stavu (na obr. č. 13 označeno A).



Obr. č. 13 – Pracovní diagramy: 1. Parabolicko-rektangulární pro beton, 2. Pro výztuž, 3. Pro ocelovou bandáž; A: Křivka původního zatížení, B: Křivka zatížení ve chvíli zesilování, C: Křivka nového zatížení po zesílení [3]

Obrázek č. 13 zobrazuje pracovní diagramy jednotlivých materiálů. První pracovní diagram je parabolicko-rektangulární pro beton, druhý je pro betonářskou výztuž a oba mají společný počátek působení. Třetí pracovní diagram je pro ocelovou bandáž. Počátek působení je posunut, vzhledem k zatížení působící na sloup ve chvíli zesilování (na obr. č. 13 označena B).

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že využití podélných pásků ocelové bandáže závisí na kapacitě přetvoření zesilovaného prvku. Zbytková kapacita přetvoření se získá, pro průřez

jehož vlákna jsou tažena i tlačena, odečtením přetvoření prvku ε_c od mezního přetvoření sevřeného betonu $\varepsilon_{cu2,c}$ dle vzorce:

$$\varepsilon_{sw} = \varepsilon_{cu2,c} - \varepsilon_c \quad (5)$$

Výsledkem je mezní přetvoření ε_{sw} zbývajících pro podélné pásy. Pokud je toto zbývajících přetvoření vyšší než mezní přetvoření použitých ocelových prvků, znamená to, že mají předpoklad být plně využity.

3.5 Přetvoření ve chvíli zesilování

Před zesílením konstrukce je nutné ověřit aktuální napjatost konstrukce. Ve chvíli zesilování je sloup pod napětím od původního zatížení a je tedy již přetvořen, to musí být uvaženo z důvodu zjištění míry využití ocelových podélných pásků. Přetvoření bude určeno na základě silové a momentové podmínky. Vztahy budou vycházet z parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu pro beton a z pracovního diagramu bez zpevnění pro výztuž.

Silová podmínka:

$$F_c + \sum_{i=1}^n F_{si} + N = 0 \quad (6)$$

$$A_c \sigma_c + A_{si} \sigma_{si} + N = 0 \quad (7)$$

$$x b f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] + \sum_{i=1}^n A_{si} E_s \frac{\varepsilon_c}{x} (x - d_i) + N = 0 \quad (8)$$

Momentová podmínka:

$$F_c z_c + \sum_{i=1}^n F_{si} z_{si} + M = 0 \quad (9)$$

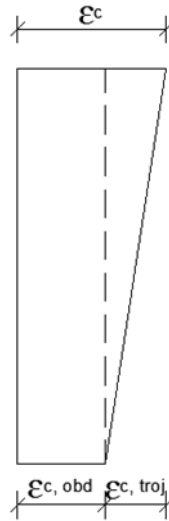
$$A_c \sigma_c z_c + A_{si} \sigma_{si} z_{si} + M = 0 \quad (10)$$

$$x b f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] (0,5h - 0,5x) + \sum_{i=1}^n A_{si} E_s \frac{\varepsilon_c}{x} (x - d_i) z_{si} + M = 0 \quad (11)$$

Tyto rovnice obsahují dvě neznámé, výšku tlačené části x a přetvoření betonu ε_c , ostatní složky jsou materiálové a geometrické charakteristiky konkrétního prvku. Šířka b a výška h se ve vzorci mění v závislosti na směru, který se počítá. Veličiny N a M jsou síla a moment působící na konkrétní konstrukci.

Výše zmíněné podmínky jsou pro případ, kdy je průřez namáhán tlakem i tahem. Pro plné tlakové zatížení by přetvoření výztuže vypadalo následovně.

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{c,obd} + \frac{\varepsilon_{c,troj.}}{x}(x - d_i) \quad (12)$$



Obr. č. 14 – Průběh přetvoření při plném tlakovém zatížení

Změna působení se promítne i do vztahů jednotlivých podmínek.

Silová podmínka:

$$x b f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] + \sum_{i=1}^n A_{si} E_s \left(\varepsilon_{c,obd} + \frac{\varepsilon_{c,troj.}}{x} (x - d_i) \right) + N = 0 \quad (13)$$

Momentová podmínka:

$$x b f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] (0,5h - 0,5x) + \sum_{i=1}^n A_{si} E_s \left(\varepsilon_{c,obd} + \frac{\varepsilon_{c,troj.}}{x} (x - d_i) \right) z_{si} + M = 0 \quad (14)$$

3.6 Výpočet

Následující výpočet bude vycházet z ČSN EN 1998-3 [2], tato norma upravuje hodnocení a zesilování pozemních staveb.

Pro zjištění pevnosti sevřeného betonu v tlaku bude nejprve potřebovat znát součinitel efektivnosti α :

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2 \cdot b_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2 \cdot h_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} \right) \quad (15)$$

Kde s_h je osová vzdálenost příčných pásků, b_0 je šířka a h_0 výška původní konstrukce. Poslední proměnou vstupující do výpočtu je vzdálenost mezi konci protilehlých podélných úhelníků značena jako b_i .

Další hodnotu, kterou je pro výpočet třeba znát bude stupeň vyztužení přidanou ocelovou bandáží.

Pro symetrický průřez:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_h} \quad (16)$$

Pro nesymetrický průřez:

$$\rho_{sw,x} = \frac{A_{sw,x}}{b_w \cdot s_h} \quad \rho_{sw,y} = \frac{A_{sw,y}}{h_w \cdot s_h} \quad (17)$$

$$\rho_{sw} = \frac{\rho_{sx} \cdot b_w + \rho_{sy} \cdot h_w}{b_w + h_w} \quad (18)$$

Parametry vstupující do výpočtu jsou plochy průřezů pásků A_{sw} , případně $A_{sw, x}$ nebo $A_{sw, y}$ dle počítaného směru. Posledními neznámými jsou šířka b_w a výška h_w příčných pásků.

Nakonec se určí pevnost sevřeného betonu v tlaku:

$$f_{cc} = f_c \cdot \left[1 + 3,7 \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \rho_{sw} \cdot f_{yw}}{f_c} \right)^{0,86} \right] \quad (19)$$

Kde f_c je pevnost betonu v tlaku zesilovaného prvku a f_{yw} je modul pružnosti příčných pásků.

Dále se musí určit poměrné přetvoření sevřeného betonu:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c2} \cdot \left[1 + 5 \cdot \left(\frac{f_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right] \quad (20)$$

Poslední neznámou hodnotou je mezní přetvoření:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,004 + 0,5 \cdot \frac{\alpha \cdot \rho_{sw} \cdot f_{yw}}{f_{cc}} \quad (21)$$

Norma ČSN EN 1998-3 ovšem uvádí, že je možný výpočet pro ovinutý sloup, pokud nejsou přesnější údaje dle normy ČSN EN 1992-1-1[3].

Potom by vztah pro výpočet charakteristické pevnosti betonu v tlaku vypadal následovně:

$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot \left(1 + 5 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right) \quad \text{pro } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck} \quad (22)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot \left(1,125 + 2,5 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \right) \quad \text{pro } \sigma_2 > 0,05 f_{ck} \quad (23)$$

Kde σ_2 , případně σ_3 , je efektivní příčné tlakové napětí, vyvozené ovinutím. Výpočet tohoto napětí vychází z Hookova zákona:

$$\sigma_2 = \alpha \cdot \rho_{sw} \cdot f_{yw} \quad (24)$$

Poměrné přetvoření se určí následovně:

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \cdot \left(\frac{f_{ck,c}}{f_{ck}} \right)^2 \quad (25)$$

A nakonec mezní poměrné přetvoření:

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}} \quad (26)$$

4 Praktický příklad hodnocení a realizace opatření existující konstrukce

Tato část bude zaměřena na hodnocení železobetonového sloupu, který je součástí železobetonového skeletu administrativní budovy, dle zadání vedoucího Ing. Petra Šimůnka, PhD. [24]. Hodnocení bude provedeno v souladu s normou ČSN ISO 13822 [1], která je rozebrána v druhé kapitole, struktura bude dle přílohy G této normy. Posouzení a návrh opatření proběhne podle norem ČSN EN 1992-1-1 [3] a ČSN EN 1998-3 [2], který je rozebrán ve třetí kapitole.

4.1 Předmět hodnocení

Předmětem hodnocení je železobetonový sloup, který má být posouzen na změnu zatížení. Dle požadavku investora se prostor nad předmětným sloupem přestaví ze současné chodby na archiv. To sebou nese i změnu kategorie užívání z C3 na E1 a tedy i změnu zatížení z 5kN/m^2 na nové zatížení $7,5\text{kN/m}^2$, dle ČSN EN 1991-1-1 [17]. Dále se zvýší zatížení a sníží únosnost v důsledku posuzování dle nových přísnějších norem.

4.2 Popis konstrukce

Objekt z 50. let 20. století se nachází v Olomouci, slouží jako Vysoká škola (Obr. č. 15). Konstrukce objektu je železobetonový skelet založený na patkách, obvodové konstrukce jsou zděné cihelné. V roce 1996 až 2011 proběhly v objektu dílčí kontroly stavu konstrukce. Objekt v minulosti neprošel žádnou významnou rekonstrukcí ani neprojevoval žádné neočekávatelné poruchy, které by snižovaly bezpečnost užívání.



Obr. č. 15 – Hodnocený objekt [24]

4.3 Průzkum

4.3.1 Zkoumané dokumenty

Byly zajištěny půdorysy jednotlivých podlaží, výkresy prvků, statické výpočty a specifikace materiálů. Věrohodnost těchto dokumentů bude ověřena a aktualizována v průběhu prohlídky.

4.3.2 Předměty prohlídky

Předmětem bylo zajištění dostatečného množství informací, které by popisovaly aktuální stav konstrukce. Proběhla kontrola původní dokumentace, která byla doplněna o fotodokumentaci stavu nosných prvků konstrukce. Dále byly odebrány vzorky pro stanovení přesných vlastností pomocí zkoušek.



Obr. č. 16 a 17 – Štěrkové hnízdo a vedení elektroinstalace [24]

Po odsekání omítky a krycí vrstvy, byly nalezeny místa s nahuštěným kamenivem (tzv. štěrková hnízda), která vznikají při ukládání betonové směsi a následném nesprávném hutnění (Obr. č. 16). Dokonce vedení elektroinstalace je hluboko v nosné konstrukci sloupu (Obr. č. 17), což má za následek oslabení nosné průřezové plochy a tedy snížení únosnosti.

4.3.3 Postupy odběru vzorků a zkušební postupy

K zjištění třídy betonu byl použit Schmidtův sklerometr typu N. Tvrdoměrné zkoušky pomocí tzv. Schmidtova kladiva nejsou vhodné na kontrolu starého betonu, kde se předpokládá s karbonizovanou krycí vrstvou. Ve stavební praxi se pro zjišťování pevnosti starého betonu, používá v kombinaci s dalšími diagnostickými metodami, v tomto případě s jádrovými vývrty průměru 100mm (obr. č. 18 a 19). Místa po jádrových vývrtech (obr. č. 20) se následně

vyplňují betonem o třídu vyšším, než byl původní beton [14]. Poloha, počet, průměry a druh výztuže byly zkontrolovány oproti výkresové dokumentaci bodovými sondami (obr. č. 21).



Obr. č. 18 – Odebírání jádrového vývrtu [24]



Obr. č. 19 – Jádrový vývrt [24]



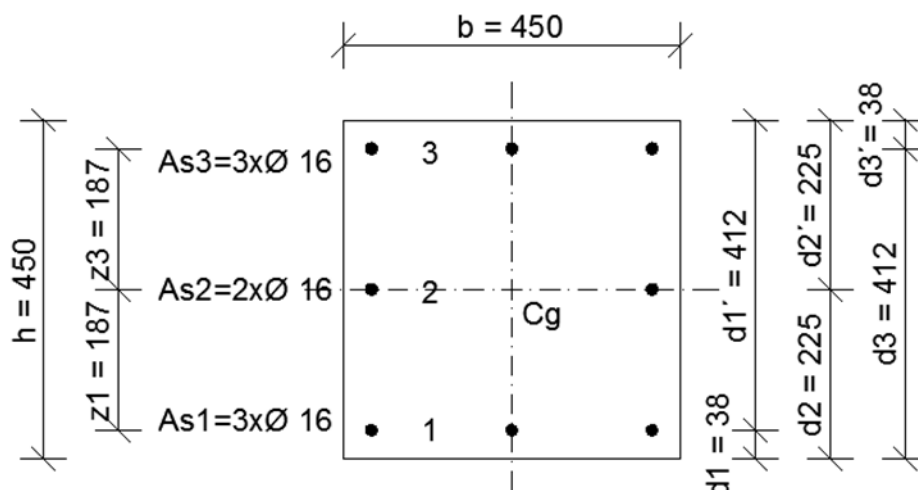
Obr. č. 20 – Místo po jádrovém vývrtu [24]



Obr. č. 21 – Lokální sonda výztuže [24]

4.3.4 Výsledky zkoušek

Ze zkoušek vyšla velmi nízká kvalita betonu, třída byla určena na C3/3,5 dle zatřídění ČSN EN 206 [8]. Třída betonu v projektové dokumentaci byla C10/13,5, je tedy vidět výrazná odchylka od původního návrhu. Výztuž, po odsekání krycí vrstvy (obr. č. 21), byla na základě vizuálního zatřídění, určena na hladkou 10 370 s návrhovou pevností 180MPa. Počet prutů jejich rozmístění a průměr (obr. č. 22) odpovídá projektové dokumentaci.



Obr. č. 22 – Posuzovaný železobetonový sloup

4.4 Analýza

Byly určeny rozměry, poloha výztuže a materiálové charakteristiky. Je tedy dostatek informací pro ověření únosnosti konstrukce. Výpočet únosnosti bude proveden pomocí Interakčního diagramu v tabulkovém editoru Microsoft Excel. Mnou provedený výpočet bude zkontrolován programem FIN EC.

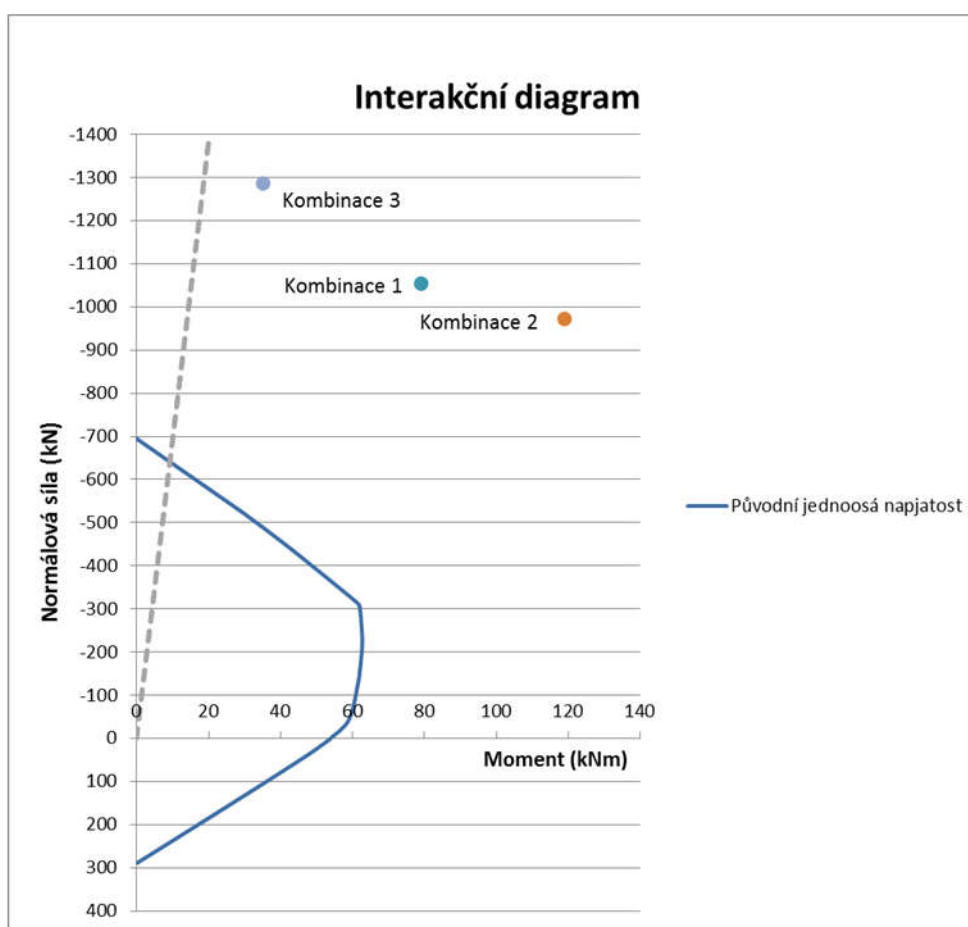
Tab. č. 4 – Ukázka provedení výpočtu v programu Microsoft Excel

Bod X		$N_{Rd,0} = -317,38$ kN		$x= 0,3370807$ m				
		$M_{Rd,0} = 51,21$ kN-m						
Výztuž	vrstva	ε_s (‰)	$\varepsilon_{s,max}$ (‰)	σ_s (MPa)	$ \sigma_{s,max} $ (MPa)	F_{si} (kN)	z_{si} (m)	M_{si} (kN-m)
	1	0,7155922	0,9	143,11844	235	0	0,225	0
	2	0,5128019	0,9	102,56037	235	0	0,193	0
	3	0,4747787	0,9	94,955735	180	57,27595	0,187	10,710603
	4	-0,7102775	0,9	-142,05549	180	-57,123903	0	0
	5	-1,8953336	0,9	-180	180	-108,57344	-0,187	20,303234
	6	-1,9333568	0,9	-235	235	0	-0,193	0
	7	-2,1361472	0,9	-235	235	0	-0,225	0
Beton	vrstva	x_{vi} (m)	ε_c (‰)	σ_c (MPa)	$ \sigma_{c,max} $ (MPa)	F_{ci} (kN)	z_{ci} (m)	M_{ci} (kN-m)
	1	0,016854	0,1068074	0,2079108	2	-3,1537222	0,0952266	-0,3003184
	2	0,0505621	0,3204221	0,589509	2	-8,9420439	0,0615186	-0,5501017
	3	0,0842702	0,5340368	0,9254759	2	-14,038202	0,0278105	-0,3904095
	4	0,1179782	0,7476515	1,2158116	2	-18,442197	-0,0058976	0,108764
	5	0,1516863	0,9612662	1,4605161	2	-22,154028	-0,0396056	0,8774243
	6	0,1853944	1,1748809	1,6595893	2	-25,173696	-0,0733137	1,8455767
	7	0,2191024	1,3884957	1,8130312	2	-27,5012	-0,1070218	2,943227
	8	0,2528105	1,6021104	1,9208419	2	-29,136541	-0,1407298	4,1003805
	9	0,2865186	1,8157251	1,9830214	2	-30,079718	-0,1744379	5,2470428
	10	0,3202266	2,0293398	2	2	-30,33726	-0,208146	6,3145784

4.5 Ověření

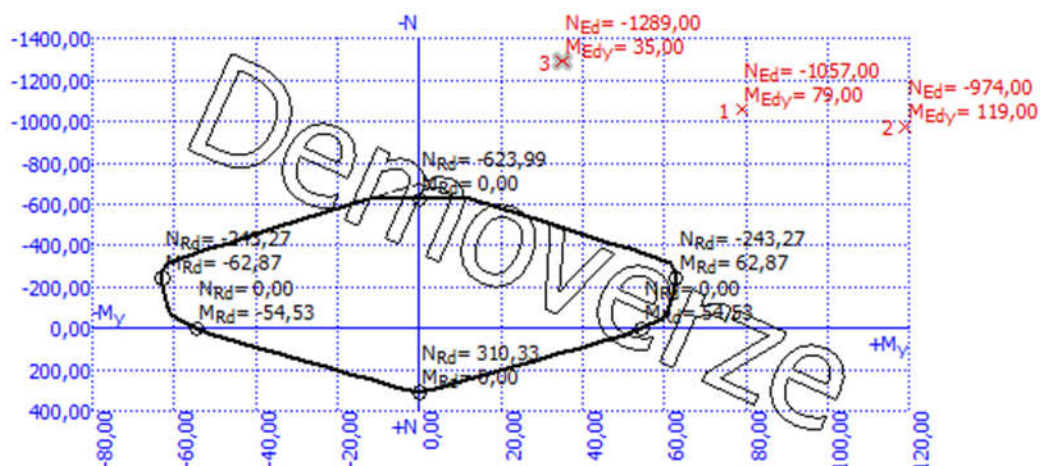
Ověření únosnosti železobetonového sloupu na nové požadavky proběhne v souladu s normou ČSN EN 1992-1-1 [3]. Výpočet bude vycházet z parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu pro beton [3, str. 38] a u výztuže bude použit pracovní diagram bez zpevnění [3, str. 43].

Na obr. č. 23 jsou vidět body 1, 2 a 3, které reprezentují nejnepříznivější kombinaci zatížení na sloup. Vzhledem k tomu, že body leží mimo oblast vytyčenou modrou křivkou, sloup nevyhovuje na nové požadované zatížení.



Obr. č. 23 – Ověření únosnosti sloupu v Microsoft Excel

Kontrola v programu FIN EC potvrdila správnost výpočtu, na obr. č. 24 je vidět totožný průběh interakčního diagramu.



Obr. č. 24 – Ověření únosnosti ve FIN EC

4.6 Hodnocení zjištěných skutečností

Dle výše uvedených zjištění sloup nevyhoví na navrhované zatížení. Lze ověřit, že by sloup nevyhověl, dle nových platných norem ani na současné zatížení. Je tedy nutné doporučit konstrukční opatření, které zvýší únosnost hodnoceného sloupu.

4.7 Posouzení možných variant opatření

V diplomové práci se zabývám zesílením pomocí ocelové bandáže, proto nebudu jiné varianty opatření brát v úvahu.

Bude tedy navrženo a posouzeno zesílení železobetonového sloupu pomocí ocelové bandáže. Bandáž zapříčiní sevření betonu, které zabrání nárůstu příčné deformace, tedy šíření podélných trhlin, čímž se zvýší pevnost betonu.

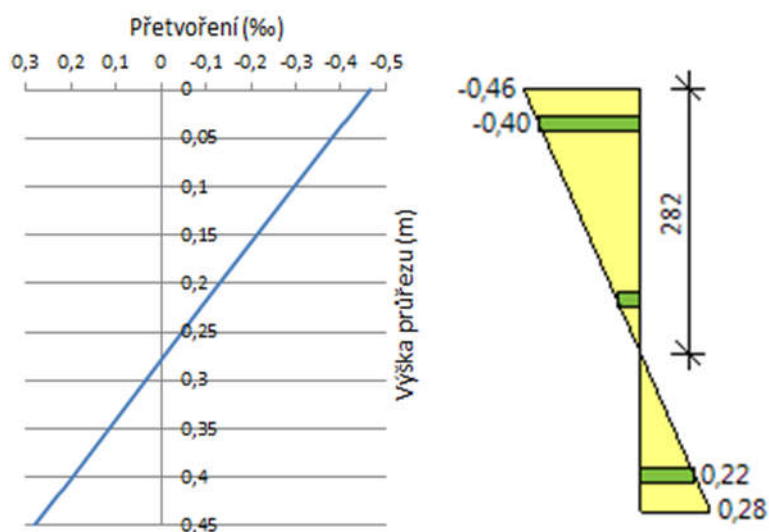
4.7.1 Výpočet

Přetvoření ve chvíli zesilování

V době zesilování nebude na konstrukci působit plné původní zatížení, ale pouze stálé s částí proměnného zatížení způsobeného stavebními pracemi. Ve výpočtu bude uvažováno s kvazistálým zatížením, popřípadě lze úroveň zatížení určit specificky dle místních podmínek s nutnou kontrolou během provádění. Normálová síla bude tedy $N_{EQ} = -317,38\text{kN}$ a moment $M_{EQ} = 51,21\text{kN}\cdot\text{m}$.

Pro zadaný sloup (Obr. 22, str. 44) bude použita funkce řešitele v programu Microsoft Excel. Aby byla ověřena správnost, mnou nastaveného výpočtu, bude provedeno ověření v programu Scia Design Forms. Tento program ovšem neumožňuje vlastní zadání materiálových

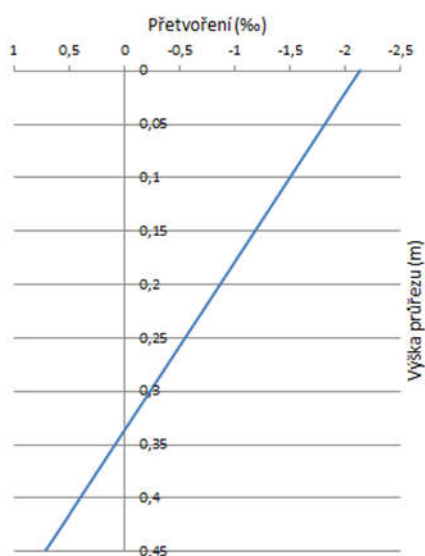
charakteristik, proto ověření správnosti výpočtu proběhne s betonem třídy C16/20 a výztuží B500B.



Obr. č. 25 – Průběh přetvoření na kontrolním příkladu

Na obr. č. 25 v levé části je vidět průběh přetvoření spočtený pomocí Microsoft Excel, kde neutrálná osa je ve výšce 280,06mm, maximální tlakové přetvoření je -0,464‰ a maximální tahové přetvoření 0,282‰. Kontrola v programu Scia Design Forms, vykazuje jen nepatrné odchylky, které jsou způsobeny přesností výpočtu plochy parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu.

Z této kontroly, lze usuzovat, že mnou nastavený výpočet je správný. Bude tedy proveden výpočet přetvoření ve chvíli zesílení se zjištěnými materiálovými charakteristikami.



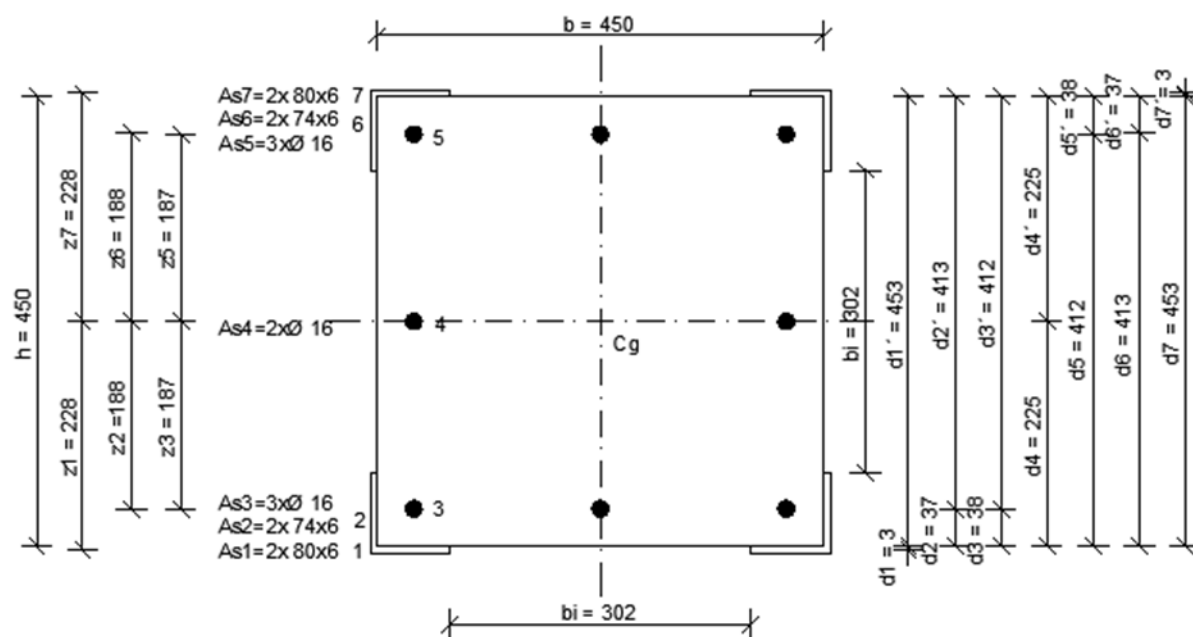
Obr. č. 26 – Průběh přetvoření na posuzovaném sloupu

Neutrální osa je ve výšce 337,08mm, maximální tlakové přetvoření je -2,136‰ a maximální tahové přetvoření 0,716‰.

$\epsilon_{sw} = 1,364‰ > f_{yw}/E_s = 1,119‰ \Rightarrow$ plné využití podélných úhelníků v jednoosé napjatosti

Výpočet charakteristik sevřeného betonu

Bude navrženo zesílení pomocí ocelové bandáže z podélných L úhelníků 80x80x6mm a pásků 60x6mm po 400mm. Teorie výpočtu bude počítat s bandáží jako s další vrstvou výztuže.



Obr. č. 27 – Zesílený železobetonový sloup

Výsledkem, podle normy ČSN EN 1998-3 [2], jsou následující hodnoty:

$$\alpha = 0,21597 \quad \rho_{sw} = 0,004 \quad f_{cc,k} = 4,095 \text{ MPa} \quad \epsilon_{cc} = 5,65‰ \quad \epsilon_{cu,c} = 27,33‰$$

$\epsilon_{sw} = 23,83‰ > f_{yw}/E_s = 1,119‰ \Rightarrow$ plné využití podélných úhelníků při mezním přetvoření

Podle normy ČSN EN 1992-1-1 [3] jsou charakteristiky následující:

$$\sigma_{2(3)} = 0,203 \text{ MPa} > 0,05 \cdot f_{ck} = 0,15 \text{ MPa} \Rightarrow f_{ck,c} = 3,88 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{c2,c} = 3,35‰ \quad \epsilon_{cu2,c} = 17,03‰$$

$\epsilon_{sw} = 13,53‰ > f_{yw}/E_s = 1,119‰ \Rightarrow$ plné využití podélných úhelníků při mezním přetvoření

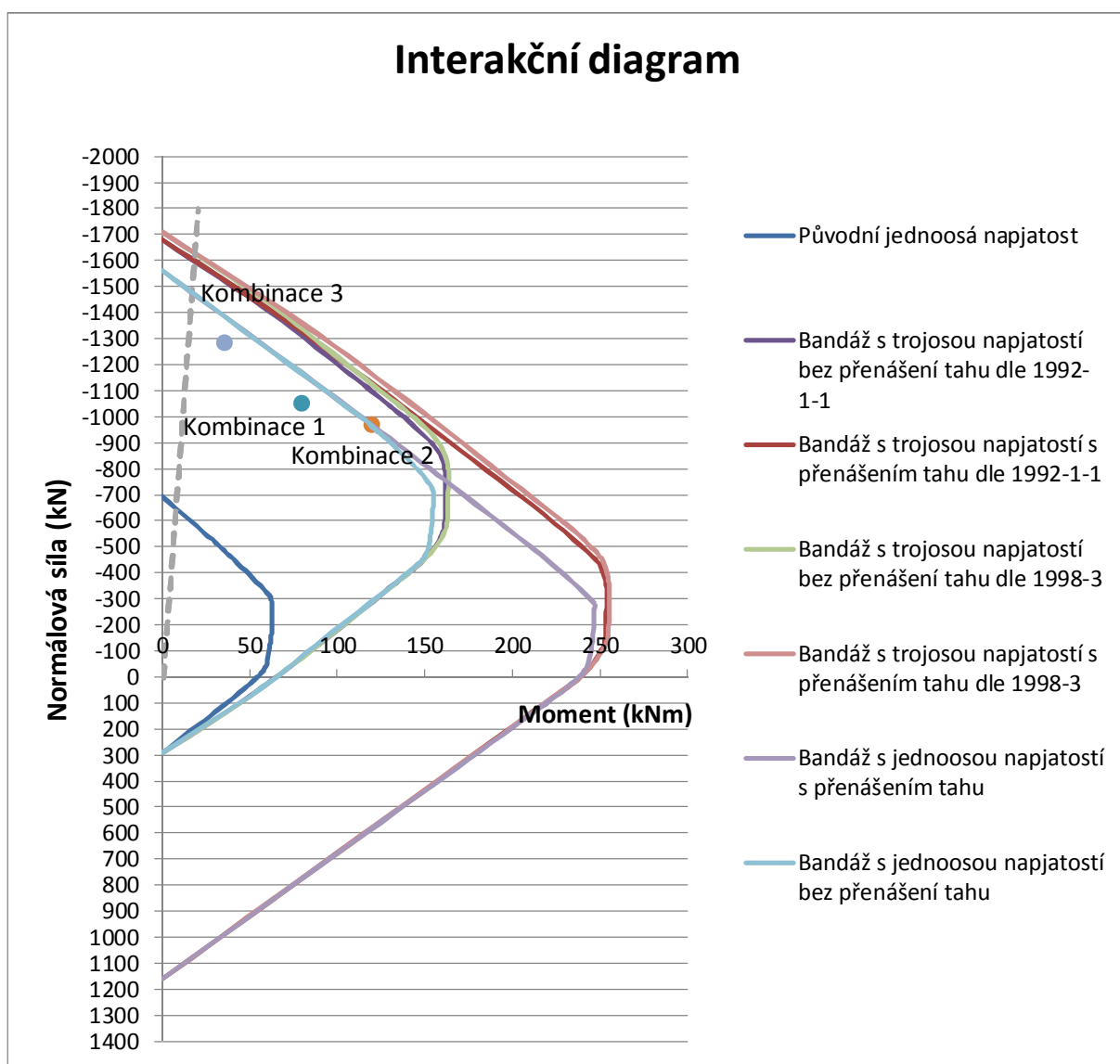
Přetvoření zesíleného betonu má dostatečnou kapacitu pro plné využití podélných pásků i v místě působení největšího přetvoření. Z hlediska betonu lze tedy do pásků vnést maximální napětí. Pásky by ale dále museli být posouzeni na normy pro ocelové konstrukce.

Teplota nahřátí příčných pásků

Určení teploty nahřátí pásků proběhne dle předpokladů z kapitoly 3.3.2, kde je stanoven postup. Bude uvažováno s mezí kluzu příčných pásků $f_y = 235\text{MPa}$, modulem pružnosti pro ocel $E = 210\text{GPa}$ a s teplotní roztažností $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$. Z toho vychází, že teplota, o kterou se mohou příčné pásky maximálně ohřát je $\Delta T = 93,25^\circ\text{C}$.

Ověření únosnosti zesílení

Únosnost bude ověřena na základě výše zjištěných materiálových charakteristik za pomoci výpočetního programu sestaveného v rámci této diplomové práce v programu Microsoft Excel.



Obr. č. 28 – Interakční diagram sevřeného betonu

Bylo navrženo zesílení pomocí ocelové bandáže z podélných L úhelníků 80x80x6mm a pásků 60x6mm po 400mm, pomocí dvou norem. Z obr. č. 28 jde vidět, že v tomto případě je vliv dvou různých norem zanedbatelný a výsledný průběh je téměř totožný. To je způsobeno nízkou pevností svíraného betonu, který nedokáže plně odhalit rozdíly. Z charakteristik sevřeného betonu jde, ale vidět, že norma ČSN EN 1992-1-1 [3] je značně přísnější a vykazuje menší pevnosti sevřeného betonu než norma ČSN EN 1998-3 [2].

Největší rozdíly jdou vidět v předpokladu přenášení tahu přidanou ocelovou bandáží. To záleží na úpravě hlavy a paty sloupu, při správném návrhu a provedení je zajištěn přímý přenos sil do ocelové bandáže a může se předpokládat s přenášením tahových účinků.

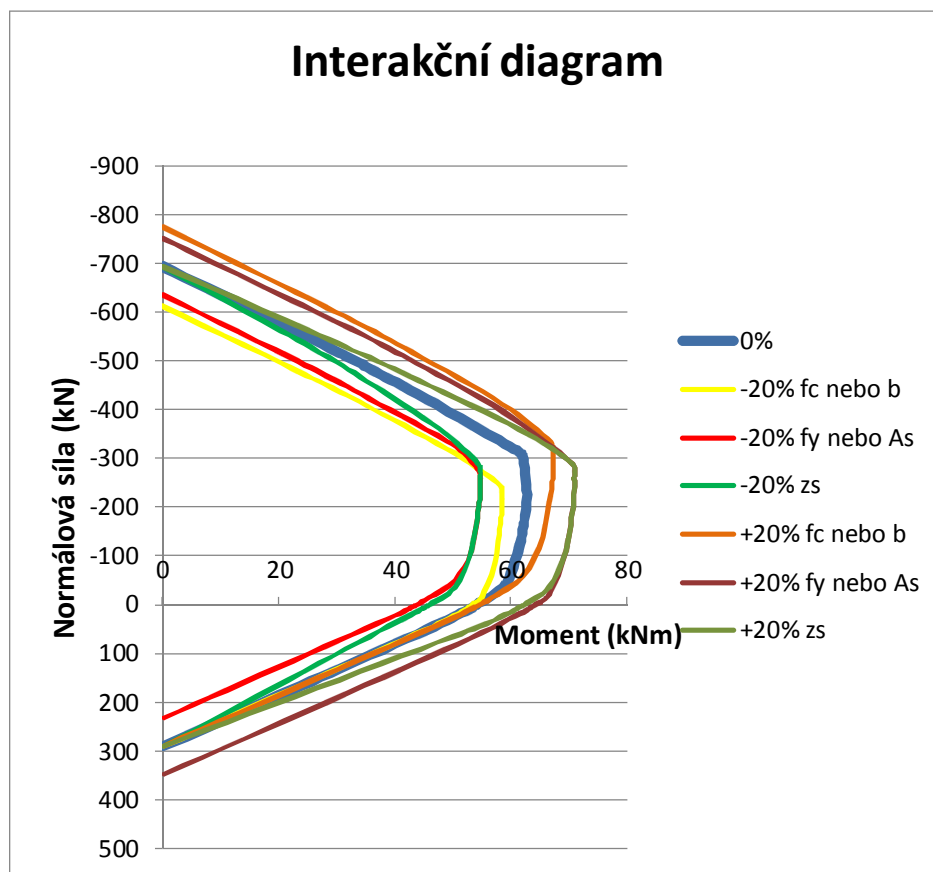
Nakonec je na interakčním diagramu vidět působení bandáže ve stavu jednoosé a trojosé napjatosti. Modrá a fialová křivka předpokládají, že nedojde k sevření a zůstane působení jednoosé napjatosti. Rozdíly nejsou v tomto případě dramatické z důvodu špatné kvality svíraného betonu. S vzrůstající pevností svíraného betonu, by vzrůstal rozdíl mezi křivkami jednoosé a trojosé napjatosti, ale i v tomto příkladu jde vidět, že pokud nedojde k přechodu na trojosou napjatost, sloup nevyhoví.

4.7.2 Citlivostní analýza

Do výpočtu únosnosti vstupuje mnoho proměnných a každá z nich může mít jinou váhu na výsledek. Je tedy důležité znát vliv jednotlivých parametrů. Následující citlivostní analýza je provedena na výše vypočteném příkladu v řezu $x = 0,2\text{m}$ a je zpřesněna pro změny o $\pm 20\%$ jednotlivých parametrů. Změna únosnosti v závislosti na změně parametrů je vypočtena pomocí interakčního diagramu.

Tab. č. 5 – Citlivostní analýza parametrů nezesíleného sloupu

Proměnná \ změna v %	-20%		-10%		0%		10%		20%	
	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M
Pevnost betonu f_c	-81,60	57,13	-96,20	59,20	-110,80	61,26	-125,40	63,33	-140,00	65,39
Pevnost oceli f_y	-110,80	53,14	-110,80	57,20	-110,80	61,26	-110,80	65,32	-110,80	69,38
Rozměr b (h)	-81,60	57,13	-96,20	59,20	-110,80	61,26	-125,40	63,33	-140,00	65,39
Plocha výztuže A_s	-117,84	53,14	-114,32	57,20	-110,80	61,26	-107,28	65,32	-103,76	69,38
Rameno vnitřních sil z_s	-110,80	53,14	-110,80	57,20	-110,80	61,26	-110,80	65,32	-110,80	69,38



Obr. č. 29 – Interakční diagram citlivostní analýzy

Z analýzy vyplývá, že největší vliv na výslednou únosnost má změna pevnosti oceli, která má stejný průběh jako změna plochy výztuže. Tedy tyto proměnné je nejdůležitější hlídat při diagnostice prvku. Rameno vnitřních sil má vliv jen na moment, vykazuje ovšem stejné rozdíly v momentové části, jako změna pevnosti oceli nebo plochy výztuže. Rozhodující vliv na výslednou tlakovou normálovou sílu má pevnost betonu, stejně jako změna rozměru.

Největší vliv má tedy proměnná, která se zároveň nejhůře stanovuje. Pevnost vnitřní betonářské oceli se v tomto případě dá stanovit pouze vizuálním zatříděním, podle tvaru žebírek, které se historicky měnily. V určitých případech se může pevnost oceli stanovit experimentálně pomocí odtrhových zkoušek. Ty sebou ovšem nesou nebezpečí v podobě oslabení konstrukce vlivem odebrání části prutu. Místo odebrání musí být správně zvoleno do míst, kde je nejmenší působení ohybového momentu a zároveň je zajištěno dostatečné kotvení.

Plocha výztuže má stejný vliv jako pevnost oceli. Zde je nebezpečí, že v průběhu času, vlivem např. karbonatce krycí betonové vrstvy nebo dojde k mechanickému poškození, začne docházet ke korozi. Dle místních podmínek v důsledku koroze dojde ke zmenšení průřezu

např. cca o 0,3mm za rok, tedy pokud je původní výztuž 18mm, tak za 6-7 let, bude průměr výztuže 14 mm a za 13 let už 14mm. Proto musíme dbát na dostatečné krytí výztuže, v závislosti na třídě agresivity prostředí, aby nedocházelo ke korozi.

Další analýza se zaměřuje na reakci změn při výpočtu pevnosti sevřeného betonu, zobrazuje obě dvě počítané normy. Analýza vychází z parametrů výše vypočteného příkladu.

Tab. č. 6 – Citlivostní analýza pevnosti sevřeného betonu

Proměnná \ změna v %	-20%		-10%		0%		10%		20%	
	1998-3	1992-1-1	1998-3	1992-1-1	1998-3	1992-1-1	1998-3	1992-1-1	1998-3	1992-1-1
Pevnost oceli f_{yw}	3,90	3,78	4,00	3,83	4,10	3,88	4,19	3,93	4,28	3,98
Průřezová plocha pásků A_{sw}	3,90	3,78	4,00	3,83	4,10	3,88	4,19	3,93	4,28	3,98
Osová vzdálenost pásků s_h	4,71	4,23	4,37	4,03	4,10	3,88	3,87	3,77	3,69	3,60
Vzdálenost proti. úhelníků b_s	4,24	3,96	4,17	3,92	4,10	3,88	4,01	3,84	3,91	3,79

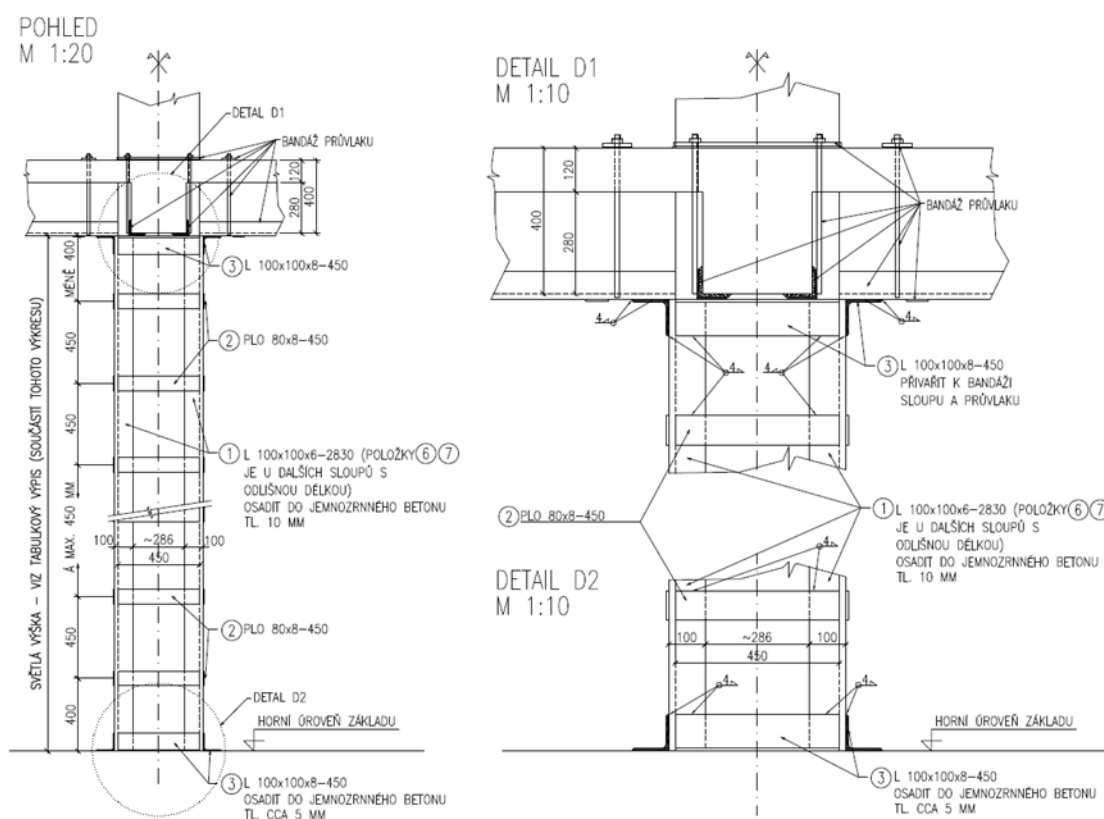
V analýze byly zohledněny proměnné vstupující do výpočtu při zesilování. Největší citlivost na změnu vykazovala osová vzdálenost příčných pásků. Tento výsledek je očekávatelný vzhledem k tomu, že pásy vnáší do betonu příčný tlak a zabraňují tvoření a/nebo zvětšování podélných trhlin. Pokud budou tedy pásy co nejbližší u sebe, bude mít beton méně místa na rozpínání. Pevnost oceli vykazuje stejnou citlivost na změny jako průřezová plocha příčných pásků. Nejmenší reakci na změny vykazuje vzdálenost protilehlých konců podélných úhelníků.

4.7.3 Postup provádění

Postup provádění je stanoven na základě habilitační práce doc. Ing. Ladislava Čírtka, CSc. [25], informací od Ing. Petra Šimůnka, Ph.D [24] a výše uvedených informací.

- Úprava povrchu zesilovaného sloupu. Odstranění krycích částí a nesoudržných prvků na povrch betonové konstrukce (omítka, obklad, ...) a následné očištění povrchu betonové konstrukce. Pokud jsou v konstrukci, např. vlivem sond z důvodu zjištění informací o výztuži, je potřeba tyto místa vyplnit betonem, alespoň o třídu vyšším, než byl v původní konstrukci použit.
- Na provlhčený povrch betonové konstrukce se nanese v oblasti podélných rohových úhelníků nesmršťující jemnozrný beton třídy C16/20 o tloušťce 5-10mm.
- Před zatuhnutím se vtlačí po celé délce úhelníky do vrstvy jemnozrného betonu. Výsledná poloha úhelníků se zafixuje svěrkami.

- Po zatvrdnutí (cca po dvou dnech) se jednostranně přivaří k podélným úhelníkům příčné pásy (příčníky) pomocí koutového svaru.
- Pásy se nahřejí po celé délce o teplotu pohybující se v rozmezí $0 \leq T \leq 215^{\circ}\text{C}$, dle použité pevnostní třídy oceli, teplota nesmí překročit mez kluzu oceli. V tomto příkladu je maximální teplota stanovena na $\Delta T = 93,25^{\circ}\text{C}$. Pásy se tedy nahřejí o 90°C . Stanovená teplota se musí udržovat konstantní na všech páscích v jedné horizontální úrovni (tady na čtyřech páscích). Následně se přivaří doposud nepřivařené konce všech čtyř příčných pásků současně k podélným úhelníkům. Tento postup nahřívání a přivaření se postupně opakuje po výšce sloupu.
- Následné ochlazení ocelových pásků vlivem prostředí, zapříčiní smrštění ocelových pásků a vnesení do betonu příčné tlakové napětí, které způsobí stav trojosé napjatosti.
- Proveďte se úprava v hlavě a patě sloupu. Příčné úhelníky se osadí do nesmršťujícího jemnozrného betonu. Po zatvrdnutí se přivaří k podélným úhelníkům sloupu a k přilehlé konstrukci (např. průvlak, deska) se přišroubují.
- Nakonec se provede finální úprava. Krytí bandáže musí být provedeno, tak aby nedocházelo ke korozi bandáže. Rozhodující slovo v tomto případě bude mít požární bezpečnost, podle které se určí způsob úpravy.



Obr. č. 30 – Příklad podoby výsledného výkresu bandáže sloupu [24]

Nejdůležitějším bodem je správné nahřátí příčných pásků. Pokud se přivaří za nižší teploty, nevznikne dostatečné příčné tlakové napětí betonu a sloup bude nadále působit v jednoosé napjatosti. Při překročení teploty může dojít k porušení příčného pásku, nebo k tvoření mikroskopických poruch betonu, nebo-li k drcení. Pro kontrolu se může použít například teplotní křídou, která se zbarví podle určité teploty, nebo přiložený teploměr.

Pokud by se pásy nejprve nahřály a poté se přivařily oba konce současně, došlo by vlivem vysoké tepelné vodivosti oceli v kombinaci s časem, který přivaření obou konců zabere, k nedostatečnému sevření betonového sloupu, protože by pásek ztratil požadovanou teplotu. Oprava by spočívala v sevření pomocí svěráků, odřezání jednoho konce příčného pásku, opětovném nahřátí a přivaření.



Obr. č. 31 – Provádění aktivace předpětí [24]

4.8 Analýza rizik

Rizika budou zhodnocena pomocí maticové analýzy rizik (Universal Matrix of Risk Analysis). Jednotlivé zdroje nebezpečí v analýze vychází z nebezpečí, které byly v průběhu práce uvedeny. Hodnocení bude vycházet ze stupnice uvedené v Tab. č. 7, pokud nebude expert dané nebezpečí moci posoudit, bude pole označeno –null–.

Tab. č. 7 – Stupnice hodnocení [24].

Nebezpečí	Realizace nebezpečí	Stupeň závažnosti Sv
nepatrné	Nevyžaduje prakticky žádná opatření, nemá vliv na ceny, lhůty, lze ji zanedbat, přehlédnout	0
malé	Nepodstatný vliv na cenu nebo lhůtu, nevyžaduje více než běžnou opravu (objektu, nebo procesu)	1
střední	Vyžaduje zvýšené náklady na odstranění následků (vícenáklady a nebo z rozpočtové rezervy projektu), nemá vliv na lhůtu, zpravidla bez sankčních opatření (smluvních pokut a podobně)	2
velké	Vyžaduje zásadní změnu projektu, vysoké náklady na sanaci nebo změnu technologických postupů nebo lhůtu projektu. Směřuje k uplatnění smluvních pokut a náhrady škody. Může mít za následek „ztrátu důvěry v organizaci“.	3

4.8.1 Analýza rizik procesu rekonstrukce stavby

Tato analýza zhodnotí veškeré kroky spojené s rekonstrukcí, jako jsou hodnocení stavu objektu, návrh a realizace opatření a následné užívání.

Tab. č. 8 – Vyplněný formulář UMRA - Bc. Jiří Bohatec [26]

Projekt	Rekonstrukce stavby														Vyhodnocení	
Aspekt	Proces															
Segmenty projektu	Zdroje nebezpečí															
	Původní výtazba (vady v konstrukci zabudované od jejího počátku)	Předěle rekonstrukce (vady v konstrukci zabudované v průběhu životnosti)	Investor (zadáni projektu)	Projektant (zaměření, návrh)	Diagnostik (průzkum, materiálové charakteristiky)	Statik (ověření, návrh opatření)	Stavební úřad (povolení)	Stavební podnikatel (realizace projektu)	Stavbyvedoucí (řízení stavby)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dodržování PD)	Státní stavební dohled (ochrana veřejných zájmů)	Vlastník stavby (zajištění údržby)	Uživatel		
Původní stav konstrukce	3	null	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	1	10	25,64
Předěle zásahy do konstrukce	null	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	12	30,76
Původní údržba	1	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	12	28,57
Zadáni	1	1	3	2	1	1	0	3	1	0	1	0	2	1	17	40,47
Původní projektová dokumentace	1	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	0	11	26,19
Stavebně- tech. průzkum	1	1	1	2	3	2	1	2	0	1	1	1	1	1	18	42,85
Materiálové charakteristiky	3	2	2	2	3	1	0	2	0	1	1	0	2	1	20	47,61
Aktualizace stávajícího stavu	1	2	1	3	2	1	1	1	0	1	0	1	2	1	17	40,47
Vypracování návrhu opatření	2	2	3	2	0	2	1	2	0	1	0	1	2	1	19	45,23
Statiký výpočet	1	1	1	1	2	3	1	1	0	1	1	1	2	1	17	40,47
Stavební povolení	1	1	2	2	1	1	3	2	0	1	1	1	2	0	18	42,85
Předání staveniště	0	0	2	1	0	1	0	2	1	1	1	1	2	0	12	28,57
Provádění v souladu s PD	0	0	2	2	0	2	1	3	2	3	3	3	2	1	24	57,14
Dodržování norem a předpisů	null	null	1	1	1	1	1	3	3	3	1	3	1	1	20	55,56
Bezpečnost	null	null	2	1	0	0	3	3	3	2	1	3	0	0	18	50
Kontrola kvality	1	1	2	2	2	3	1	2	3	3	2	1	3	1	27	64,28
Kolaudace	0	0	3	2	0	1	3	3	1	2	2	2	1	0	20	47,61
Předání díla k užívání	null	null	3	1	0	0	1	3	1	1	1	0	3	2	16	44,44
Užívání	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	3	11	26,19
Údržba	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	10	23,81
Součet	18	21	34	23	15	19	23	29	14	20	15	25	38	19		
Vnímání nebezpečí	35,2941176	41,1764706	53,968	36,508	23,81	30,159	36,508	46,032	22,222	31,746	23,81	39,683	60,317	30,159		
Expert:	Jméno experta: 1 - Bc. Jiří Bohatec								Datum posouzení: 15.5.2016							

Tab. č. 9 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Ivana Laníková, PhD. [26]

Projekt	Rekonstrukce stavby														Vyhodnocení	
Aspekt	Proces															
Segmenty projektu	Zdroje nebezpečí															
	Původní výstřeba (vady v konstrukci zabudované od jejího počátku)	Předěle rekonstrukce (vady v konstrukci zabudované v průběhu životnosti)	Investor (zadáni projektu)	Projektant (zaměření, návrh)	Diagnostik (průzkum, materiálové charakteristiky)	Statik (ověření, návrh opatření)	Stavební úřad (povolení)	Stavební podnikatel (realizace projektu)	Stavbyvedoucí (řízení stavby)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dozorování PD)	Státní stavební dohled (ochrana veřejných zájmů)	Vlastník stavby (zajištění údržby)	Uživatel	Součet	Vnímání nebezpečí
Původní stav konstrukce	3	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10	23,81
Předěle zásahy do konstrukce	1	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	8	19,04
Původní údržba	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	14,28
Zadáni	2	2	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	10	23,81
Původní projektová dokumentace	2	2	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	10	23,81
Stavebně- tech. průzkum	1	2	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8	19,04
Materiálové charakteristiky	1	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	8	19,04
Aktualizace stávajícího stavu	3	3	0	2	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	15	35,71
Vypracování návrhu opatření	2	2	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	10	23,81
Statiký výpočet	2	2	0	1	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0	11	26,19
Stavební povolení	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	9,523
Předání staveniště	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	9,523
Provádění v souladu s PD	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	0	0	0	7	16,66
Dodržování norem a předpisů	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0	7	16,66
Bezpečnost	1	1	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0	9	21,42
Kontrola kvality	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	9,523
Kolaudace	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	6	14,28
Předání díla k užívání	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	4	9,523
Užívání	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6	14,28
Údržba	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	5	11,90
Součet	20	25	5	13	13	9	10	11	9	7	10	3	10	3		
Vnímání nebezpečí	31,7460317	39,6825397	7,9365	20,635	20,635	14,286	15,873	17,46	14,286	11,111	15,873	4,7619	15,873	4,7619		
Expert:	Jméno experta: 2 - Ing. Ivana Laníková, Ph.D.								Datum posouzení: 23.5.2016							

Tab. č. 10 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Petr Šimůnek, PhD. [26]

Projekt	Rekonstrukce stavby														Vyhodnocení	
Aspekt	Proces															
Segmenty projektu	Zdroje nebezpečí															
	Původní výstavba (vady v konstrukci zabudované od jejího počátku)	Předěle rekonstrukce (vady v konstrukci zabudované v průběhu životnosti)	Investor (zadání projektu)	Projektant (zaměření, návrh)	Diagnostik (průzkum, materiálové charakteristiky)	Statik (ověření, návrh opatření)	Stavební úřad (povolení)	Stavební podnikatel (realizace projektu)	Stavbyvedoucí (řízení stavby)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dodržování PD)	Státní stavební dohled (ochrana veřejných zájmů)	Vlastník stavby (zajištění údržby)	Uživatel	Součet	Vnímání nebezpečí
Původní stav konstrukce	2	null	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4	10,256
Předěle zásahy do konstrukce	null	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	12	30,769
Původní údržba	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	10	23,81
Zadání	1	1	3	1	1	1	2	1	0	0	0	0	3	2	16	38,095
Původní projektová dokumentace	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1	12	28,571
Stavebně- tech. průzkum	2	3	3	1	2	2	1	1	1	1	2	1	3	2	25	59,524
Materiálové charakteristiky	2	3	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	3	2	23	54,762
Aktualizace stávajícího stavu	2	3	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	17	40,476
Vypracování návrhu opatření	2	3	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	23	54,762
Statický výpočet	2	3	0	1	2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	12	28,571
Stavební povolení	1	0	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	18	42,857
Předání staveniště	0	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	1	2	2	17	40,476
Provádění v souladu s PD	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	1	1	3	1	25	59,524
Dodržování norem a předpisů	1	1	2	1	1	1	1	3	2	2	1	1	2	1	20	47,619
Bezpečnost	1	2	2	1	1	2	1	3	2	1	1	1	2	1	21	50
Kontrola kvality	1	1	2	1	1	1	1	3	3	2	2	2	3	1	24	57,143
Kolaudace	0	0	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	1	18	42,857
Předání díla k užívání	null	2	3	1	1	1	1	3	3	1	1	1	3	3	24	61,538
Užívání	1	1	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	14	33,333
Údržba	1	1	3	1	0	0	1	1	1	0	0	0	3	3	15	35,714
Součet	23	33	35	16	19	20	17	27	21	14	13	11	46	31		
Vnímání nebezpečí	40,3508772	55	55,556	25,397	30,159	31,746	26,984	42,857	33,333	22,222	20,635	17,46	73,016	49,206		
Expert:	Jméno experta: 3 - Ing. Petr Šimůnek, Ph.D.								Datum posouzení: 20.5.2016							

Tab. č. 11 – Výsledné vnímání nebezpečí [26]

Veličina	Tým	Expert		
		1	2	3
Součet Sv	831	329	152	350
Počet aktivních buněk	787	258	266	263
Maximální možné hodnocení	2361	774	798	789
P_{ct}	0,3519695			
P_{ck}		0,4250646	0,19047619	0,44359949
P_{ct}/P_{ck}		0,82803768	1,8478399	0,79343983

Tabulky č. 8-10 zobrazují hodnocení jednotlivých expertů a jejich vnímání nebezpečí. Tab. č. 11 zhodnocuje celkové vnímání experty. Nejvíce vnímá nebezpečí celkového postupu Expert č. 3 a nejméně Expert č. 2. Samozřejmě se jedná o subjektivní hodnocení a výsledky jsou tedy zatíženy chybou, která se ovšem snižuje se zvyšujícím se počtem hodnocení různými experty, díky týmovému součiniteli vnímání nebezpečí P_{ct} .

Z analýzy vyplývá, že největší pravděpodobnost poruchy v segmentech projektu vnímají experti v provádění v souladu se schválenou projektovou dokumentací, tento bod má pravděpodobnost znehodnocení 44,44%. Další nejvyšší pravděpodobnost znehodnocení 43,65% je u kontroly kvality. Třetí pravděpodobná porucha je dle expertů ve vypracování návrhu opatření s pravděpodobností poruchy 41,27%.

U zdrojů nebezpečí vidí experti jako největší nebezpečí vlastníka stavby, který má 52,22% pravděpodobnost poruchy. Druhým největším zdrojem nebezpečí jsou vnímány předešlé rekonstrukce s 47,88% pravděpodobností poruchy a třetí je investor s 41,11% pravděpodobností poruchy. Výsledky jednotlivých bodů jsou zobrazeny v Tab. č. 12.

Tab. č. 12 – Výsledné vnímání nebezpečí segmentů projektu a zdrojů nebezpečí

Projekt	Celkové vnímání nebezpečí
Aspekt	
Segmenty projektu	
Původní stav konstrukce	20
Předešlé zásahy do konstrukce	26,6666667
Původní údržba	22,2222222
Zadání	34,1269841
Původní projektová dokumentace	26,1904762
Stavebně- tech. průzkum	40,4761905
Materiálové charakteristiky	40,4761905
Aktualizace stávajícího stavu	38,8888889
Vypracování návrhu opatření	41,2698413
Statický výpočet	31,7460317
Stavební povolení	31,7460317
Předání staveniště	26,1904762
Provádění v souladu s PD	44,4444444
Dodržování norem a předpisů	39,1666667
Bezpečnost	40
Kontrola kvality	43,6507937
Kolaudace	34,9206349
Předání díla k užívání	37,6068376
Užívání	24,6031746
Údržba	23,8095238

Projekt	Celkové vnímání nebezpečí
Aspekt	
Zdroje nebezpečí	
Původní výstavba	37,654321
Předešlé rekonstrukce	47,878788
Investor	41,111111
Projektant	28,888889
Diagnostik	26,111111
Statik	26,666667
Stavební úřad	27,777778
Stavební podnikatel	37,222222
Stavbyvedoucí	24,444444
Technický dozor	22,777778
Autorský dozor	21,111111
Státní stavební dohled	21,666667
Vlastník stavby	52,222222
Uživatel	29,444444

4.8.2 Analýza rizik procesu zesílení sloupu

V této analýze bude zhodnocen postup samotného zesilování železobetonového sloupu.

Tab. č. 13 – Vyplněný formulář UMRA - Bc. Jiří Bohatec [26]

Projekt		Zesílení železobetonového sloupu									Vyhodnocení	
Aspekt		Návrh a posouzení										
Segmenty projektu		Zdroje nebezpečí									Součet	Vnímání nebezpečí
		Investor (žadání, komunikace)	Dodavatel materiálu (finanční plán, časový harmonogram, certifikáty materiálu)	Dodavatel stavebních prací (technická zdatnost, zručnost, časový harmonogram)	Normy (výstížnost pro daný účel, dodržování)	Diagnostik (dodavatel stavebně-technického průzkumu)	Statik (dodavatel posouzení a návrhu opatření)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dodržování PD)	Další vlivy (počasí, vyšší moc)		
Předběžné hodnocení	Vizuální kontrola kvality posuzovaného prvku (pevnost a soudržnost povrchové vrstvy, celistvost prvku)	2	0	1	0	2	1	0	0	1	7	25,92593
	Zajištění dokumentace (výkresy, mat. specifikace, zprávy, výpočty)	2	0	0	0	1	1	0	0	1	5	18,51852
	Průzkum (odběry vzorků, provedení sond, aktualizace dokumentace)	1	0	0	1	3	1	null	0	1	7	29,16667
Posouzení stávajícího stavu	Materiálové charakteristiky (způsob stanovení)	0	0	0	2	3	0	null	0	0	5	20,83333
	Zatížení působící na konstrukci (zohlednění všech působení na konstrukci)	1	0	null	1	2	2	0	0	1	7	29,16667
	Výpočetní postup (způsob stanovení celkové únosnosti)	0	0	0	2	1	2	0	0	0	5	18,51852
Návrh opatření	Volba způsobu zesílení (bandáž, obetonování, uhlíková vlákna)	1	null	2	1	1	3	0	0	0	8	33,33333
	Volba výpočetního postupu (způsob zahrnutí přidané bandáže do výpočtu)	0	0	0	1	0	3	0	0	0	4	14,81481
	Předpoklady výpočtu proti reálnému chování (působení trojsové napjatosti)	0	null	null	1	0	2	0	0	2	5	23,80952
	Výpočetní model (správnost sestavení a vstupních parametrů, zahrnutí všech vlivů do výpočtu)	null	null	0	1	1	3	null	0	null	5	33,33333
	Interakce bandáže se sloupem oproti skutečnému spolupůsobení (prokluz, přenášení tahu bandáží)	0	null	null	1	0	1	0	0	2	4	19,04762
	Návrh a posouzení ocelové bandáže (rozměry jednotlivých prvků bandáže a jejich umístění)	0	1	1	1	0	1	null	0	0	4	16,66667
	Posouzení zesíleného prvku (splnění požadavky na únosnost a spolehlivost)	0	0	0	2	0	2	0	0	0	4	14,81481
Provedení navržených opatření	Ukotvení podélných pásků (úprava povrchu sloupu, nanесení nesmršťující malty, zasvěrkování podélných pásků)	0	2	2	1	0	0	1	1	1	8	29,62963
	Ukotvení příčných pásků (nanесení v osové vzdálenosti sh, jednostranné přivaření)	0	1	3	1	0	1	2	2	1	11	40,74074
	Vnesení předpjetí (ohřátí pásků o ΔT, přivaření volného konce)	0	1	3	1	0	null	2	3	2	12	50
	Úprava hlavy a paty sloupu (vnesení přímého napětí do podélných uhlíků)	0	1	3	1	0	null	3	3	1	12	50
	Finální povrchová úprava (estetika, požární bezpečnost, mechanická odolnost)	2	2	2	2	0	2	2	1	1	14	51,85185
Vyhodnocení	Součet	9	8	17	20	14	25	10	10	14		
	Vnímání nebezpečí	17,64706	19,04762	37,77778	37,03704	25,92593	52,08333	23,80952	18,51852	27,45098		
Expert:		Jméno experta: 1 - Bc. Jiří Bohatec						Datum posouzení: 29.9.2016				

Tab. č. 14 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Ivana Laníková, Ph.D. [26]

Projekt		Zesílení železobetonového sloupu									Vyhodnocení	
Aspekt		Návrh a posouzení										
Segmenty projektu		Zdroje nebezpečí									Součet	Vnímání nebezpečí
		Investor (zadání, komunikace)	Dodavatel materiálů (finanční plán, časový harmonogram, certifikáty materiálů)	Dodavatel stavebních prací (technická zdatnost, zručnost, časový harmonogram)	Normy (výstížitost pro daný účel, dodržování)	Diagnostik (dodavatel stavebně-technického průzkumu)	Statik (dodavatel posouzení a návrhu opatření)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dodržování PD)	Další vlivy (počasí, vyšší moc)		
Předběžné hodnocení	Vizuální kontrola kvality posuzovaného prvku (pevnost a soudržnost povrchové vrstvy, celistvost prvku)	1	null	null	0	2	null	null	null	0	3	25
	Zajištění dokumentace (výkresy, mat. specifikace, zprávy, výpočty)	1	null	1	0	0	1	null	null	null	3	20
	Průzkum (odběry vzorků, provedení sond, aktualizace dokumentace)	1	null	null	1	2	1	null	null	0	5	33,33333
Posouzení stávajícího stavu	Materiálové charakteristiky (způsob stanovení)	null	null	null	0	1	1	null	null	null	2	22,22222
	Zatížení působící na konstrukci (zohlednění všech působení na konstrukci)	null	null	null	1	1	1	null	null	null	3	33,33333
	Výpočetní postup (způsob stanovení celkové únosnosti)	null	null	null	0	1	2	null	null	null	3	33,33333
Návrh opatření	Volba způsobu zesílení (bandáž, obetonování, uhlíková vlákna)	1	null	null	0	0	1	null	null	null	2	16,66667
	Volba výpočetního postupu (způsob zahrnutí přidané bandáže do výpočtu)	1	null	null	1	null	2	null	null	null	4	44,44444
	Předpoklady výpočtu proti reálnému chování (působení trojosé napjatosti)	0	null	null	1	null	1	null	null	null	2	22,22222
	Výpočetní model (správnost sestavení a vstupních parametrů, zahrnutí všech vlivů do výpočtu)	null	null	null	1	null	2	null	null	null	3	50
	Interakce bandáže se sloupem oproti skutečnému spolupůsobení (prokluz, přenášení tahu bandáží)	0	null	null	1	null	1	null	null	null	2	22,22222
	Návrh a posouzení ocelové bandáže (rozměry jednotlivých prvků bandáže a jejich umístění)	null	null	null	0	null	0	null	null	null	0	0
	Posouzení zesíleného prvku (splnění požadavky na únosnost a spolehlivost)	null	null	null	1	null	1	null	null	null	2	33,33333
Provedení navržených opatření	Ukotvení podélných pásků (úprava povrchu sloupu, nanесení nesmršťující malty, zasvěrkování podélných pásků)	0	0	2	0	null	null	1	0	1	4	19,04762
	Ukotvení příčných pásků (nanесení v osové vzdálenosti sh, jednostranné přivaření)	0	0	1	0	null	null	0	0	0	1	4,761905
	Vnesení předpjetí (ohřátí pásků o ΔT, přivaření volného konce)	1	null	3	0	null	null	1	2	1	8	44,44444
	Úprava hlavy a paty sloupu (vnesení přímého napětí do podélných uhlíků)	0	0	2	0	0	null	1	1	0	4	16,66667
	Finální povrchová úprava (estetika, požární bezpečnost, mechanická odolnost)	1	1	1	1	0	null	2	1	0	7	29,16667
Vyhodnocení	Součet	7	1	10	8	7	14	5	4	2		
	Vnímání nebezpečí	19,44444	8,333333	55,55556	14,81481	25,92593	38,88889	33,33333	26,66667	9,52381		
Expert:		Jméno experta: 2 - Ing. Ivana Laníková, Ph.D.							Datum posouzení: 2.10.2016			

Tab. č. 15 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Petr Šimůnek, Ph.D. [26]

Projekt		Zesílení železobetonového sloupu									Vyhodnocení	
Aspekt		Návrh a posouzení										
Segmenty projektu		Zdroje nebezpečí									Součet	Vnímání nebezpečí
		Investor (žadání, komunikace)	Dodavatel materiálu (finanční plán, časový harmonogram, certifikáty materiálů)	Dodavatel stavebních prací (technická zdatnost, zručnost, časový harmonogram)	Normy (výstítnost pro daný účel, dodržování)	Diagnostik (dodavatel stavebně-technického průzkumu)	Statik (dodavatel posouzení a návrhu opatření)	Technický dozor (kontrola kvality)	Autorský dozor (kontrola dodržování PD)	Další vlivy (počasí, vyšší moc)		
Předběžné hodnocení	Vizuální kontrola kvality posuzovaného prvku (pevnost a soudržnost povrchové vrstvy, celistvost prvku)	1	null	null	0	2	1	0	1	0	5	23,80952
	Zajištění dokumentace (výkresy, mat. specifikace, zprávy, výpočty)	1	null	null	null	1	1	0	0	0	3	16,66667
	Průzkum (odběry vzorků, provedení sond, aktualizace dokumentace)	1	null	null	1	2	1	0	0	0	5	23,80952
Posouzení stávajícího stavu	Materiálové charakteristiky (způsob stanovení)	1	null	null	1	2	0	0	0	0	4	19,04762
	Zatížení působící na konstrukci (zohlednění všech působení na konstrukci)	2	null	null	1	1	1	0	0	1	6	28,57143
	Výpočetní postup (způsob stanovení celkové únosnosti)	null	0	0	1	0	1	0	0	0	2	8,33333
Návrh opatření	Volba způsobu zesílení (bandáž, obetonování, uhlíková vlákna)	1	1	1	1	1	2	0	0	0	7	25,92593
	Volba výpočetního postupu (způsob zahrnutí přidané bandáže do výpočtu)	null	0	0	1	0	2	0	0	0	3	12,5
	Předpoklady výpočtu proti reálnému chování (působení trojsové napjatosti)	null	null	null	1	0	2	null	null	null	3	33,33333
	Výpočetní model (správnost sestavení a vstupních parametrů, zahrnutí všech vlivů do výpočtu)	null	null	null	1	null	2	null	null	null	3	50
	Interakce bandáže se sloupem oproti skutečnému spolupůsobení (prokluz, přenašlení tahu bandáže)	null	null	null	1	null	2	null	null	null	3	50
	Návrh a posouzení ocelové bandáže (rozměry jednotlivých prvků bandáže a jejich umístění)	1	1	1	1	null	1	null	null	null	5	33,33333
	Posouzení zesíleného prvku (splnění požadavky na únosnost a spolehlivost)	1	0	0	1	null	2	null	null	null	4	26,66667
Provedení navržených opatření	Ukotvení podélných pásků (úprava povrchu sloupu, nanesení nesmršťující malty, zasvěrkování podélných pásků)	1	2	3	1	null	0	2	1	2	12	50
	Ukotvení příčných pásků (nanesení v osové vzdálenosti sh, jednostranné přivaření)	null	2	2	1	null	null	1	1	1	8	44,44444
	Vnesení předpjetí (ohřátí pásků o ΔT, přivaření volného konce)	null	1	3	1	null	0	3	1	1	10	47,61905
	Úprava hlavy a paty sloupu (vnesení přímého napětí do podélných uhlíků)	null	1	3	1	null	0	3	1	2	11	52,38095
	Finální povrchová úprava (estetika, požární bezpečnost, mechanická odolnost)	1	1	2	1	null	null	2	0	1	8	38,09524
Vyhodnocení	Součet	11	9	15	16	9	18	11	5	8		
	Vnímání nebezpečí	36,66667	30	50	31,37255	33,33333	37,5	28,20513	12,82051	20,51282		
Expert:		Jméno experta: 3 - Ing. Petr Šimůnek, Ph.D.							Datum posouzení: 2.10.2016			

Tab. č. 16 – Výsledné vnímání nebezpečí [26]

Veličina	Tým	Expert		
		1	2	3
Součet Sv	287	127	58	102
Počet aktivních buněk	336	147	78	111
Maximální možné hodnocení	1008	441	234	333
P_{ct}	0,28472222			
P_{ck}		0,28798186	0,24786325	0,306306
P_{ct}/P_{ck}		0,9886811	1,1487069	0,929534

Hodnocení jednotlivých expertů je v tabulkách č. 13-15, kde je zobrazeno i jejich vnímání nebezpečí. Celkové hodnocení vnímání nebezpečí experty je potom v Tab. č. 16. Nejvíce vnímá nebezpečí celkového postupu Expert č. 3 a nejméně Expert č. 2. Na rozdíl od předchozí analýzy jsou hodnoty vnímání nebezpečí blízko sebe, z čehož se dá usuzovat, že docházelo k větší shodě.

Tab. č. 17 – Výsledné vnímání nebezpečí segmentů projektu a zdrojů nebezpečí

Projekt	Celkové vnímání nebezpečí
Aspekt	
Segmenty projektu	
Vizuální kontrola kvality posuzovaného prvku	25
Zajištění dokumentace	18,33333
Průzkum	28,33333
Materiálové charakteristiky	20,37037
Zatížení působící na konstrukci	29,62963
Výpočetní postup	16,66667
Volba způsobu zesílení	26,98413
Volba výpočetního postupu	18,33333
Předpoklady výpočtu proti reálnému chování	25,64103
Výpočetní model	40,74074
Interakce bandáže se sloupem oproti skutečnému spolupůsobení	25
Návrh a posouzení ocelové bandáže	20
Posouzení zesíleného prvku	20,83333
Ukotvení podélných pásků	33,33333
Ukotvení příčných pásků	30,30303
Vnesení předpjetí	47,61905
Úprava hlavy a paty sloupu	39,13043
Finální povrchová úprava	40,27778

Projekt	Celkové vnímání nebezpečí
Aspekt	
Zdroje nebezpečí	
Investor	23,07692
Dodavatel materiálu	21,42857
Dodavatel stavebních prací	45,16129
Normy	27,67296
Diagnostik	27,77778
Statik	43,18182
Technický dozor	27,08333
Autorský dozor	17,59259
Další vlivy	21,62162

Největší pravděpodobnost poruchy v segmentech projektu vnímají experti ve vnesení předpětí s pravděpodobností poruchy 47,62%. Druhou nejvyšší pravděpodobnost poruchy má výpočetní model 40,74%. S pravděpodobností 40,28% je na třetím místě finální povrchová úprava.

U zdrojů nebezpečí vidí experti jako největší nebezpečí v dodavateli stavebních prací, který má 45,16% pravděpodobnost poruchy. Následuje statik s pravděpodobností poruchy 43,18% a třetí je diagnostik s 27,78% pravděpodobností poruchy. Výsledky jednotlivých bodů jsou zobrazeny v Tab. č. 17.

4.9 Závěry a doporučení

Z dostupných údajů vyplývá, že konstrukce je ve špatném technickém stavu, byla zjištěna nízká třída betonu, množství zásahů do nosné konstrukce, které zapříčiňují snížení únosnosti. Bez opatření na zvýšení únosnosti, konstrukce nesplňuje požadovanou spolehlivost.

Pro další přetížení, vlivem plánované změny v užívání konstrukce, je nutné konstrukci zesílit. Výpočet počítá se zesílením pomocí ocelové bandáže, která konstrukci sevře (přechod z jednoosé napjatosti do trojosé napjatosti). Je nutné držet se daného postupu a všechny případné odchylky konzultovat se statikem, který zváží případné vlivy na výslednou únosnost konstrukce.

5 Závěr

Diplomová práce se zabývala zesilování železobetonového sloupu. V první části je rozebrán postup hodnocení existujících konstrukcí podle normy ČSN ISO 13822 [1], norma je bodově rozepsána a u každého bodu jsou možná nebezpečí, která případně mohou nastat. Nebezpečí vyplívají z průběhu hodnocení nebo návrhu konstrukce a to ať původního nebo návrhu opatření. Na nebezpečí jsou následně navržena opatření, které mají za úkol snížit pravděpodobnost výskytu, případně následků.

Druhá část se zaměřuje na teorii zesilování železobetonových konstrukcí. Působení jednoosé a trojosé napjatosti. Je tady rozebrána problematika přetvoření, které se v průběhu zesilování mění a je důležité tyto změny zohlednit. Dále jsou popsány jednotlivé prvky zesilující ocelové bandáže, jejich působení a funkce. Na závěr této kapitoly jsou uvedeny vzorce potřebné k výpočtu působení sevřeného betonu a to podle norem ČSN EN 1998-3 [2] a ČSN EN 1992-1-1 [3].

Ve třetí části práce je zhodnocen konkrétní případ zesílení železobetonového sloupu na nové požadavky. Nejprve proběhlo hodnocení stávajícího stavu, poté posouzení na nové požadavky a následně byly navrženy opatření na zvýšení únosnosti. Byla provedena riziková analýza na postup celkové rekonstrukce stavby a na zesílení železobetonového sloupu. Tato analýza byla provedena pomocí univerzální matice analýzy rizika (UMRA). Z výsledků bylo jasné patrné, že při celkové rekonstrukci je podle hodnotících expertů hlavní nebezpečí v provádění v souladu s projektovou dokumentací a zdrojem nebezpečí je vlastník stavby. Z druhé analýzy zaměřené na zesilování železobetonového sloupu vyšlo jako největší nebezpečí vnesení předpětí a jako zdroj nebezpečí je dle hodnotících expertů dodavatel stavebních prací. Pro zpřesnění výsledků by bylo vhodné hodnocení od vyššího počtu expertů, pomocí kterých by byla menší pravděpodobnost špatného odhadu v závislosti na chybě jednoho z nich.

6 Seznam zdrojů

6.1 Normy

- [1] ČSN ISO 13822. Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 44 s. Třídící znak 73 0038.
- [2] ČSN EN 1998-3. Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení – Část 3: Hodnocení a zesilování pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 68 s. Třídící znak 73 0036.
- [3] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 210 s. Třídící znak 73 1201.
- [5] ČSN EN 31010. Management rizik – Techniky posuzování rizik. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 80 s. Třídící znak 01 0352.
- [6] ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. 76 s. Třídící znak 730002.
- [7] ČSN 13791. Posuzování betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 56 s. Třídící znak 73 1303.
- [8] ČSN EN 206. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 88 s. Třídící znak 73 2403.
- [10] ČSN EN 12504-1. Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 12 s. Třídící znak 73 1303.
- [11] ČSN EN 12504-2. Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 12 s. Třídící znak 73 1303.

- [12] ČSN EN 12504-3. Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 3: Stanovení síly na vytržení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 12 s. Třídící znak 73 1303.
- [13] ČSN EN 12504-4. Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 16 s. Třídící znak 73 1303.
- [15] ČSN ISO 2394. Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 84 s. Třídící znak 73 0031.
- [16] ČSN EN 73 0038. Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 56 s. Třídící znak 73 0038.
- [17] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. 44 s. Třídící znak 73 0035.
- [18] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 96 s. Třídící znak 73 1401.

6.2 Internetové zdroje

- [4] Český statistický úřad – Průměrné stáří trvale obydlených domů. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xm/prumerne_stari_trvale_obydlenych_domu_v_obcich_kraje
- [9] Protokol 2. Internetové stránky Ústavu stavebního zkušebnictví VUT v Brně. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF_C2_2016_Protokol.pdf
- [14] HOBST L., ADÁMEK J., CIKRLE P., SCHMID P.: Diagnostika stavebních konstrukcí (Přednášky). Elektronické studijní opory VUT v Brně, 2005. 124 s.
- [25] ČÍRTEK L.: Železobetonové sloupy s předpjatou ocelovou bandáží. Brno, 2002. 39 s. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-2149-5.pdf>

[26] KUBEČKA K.: Využití metod analýzy rizik v rozhodovacím procesu o vhodnosti sanace. Bezpečnost a rizika ve výstavbě, 2010. 6 s. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/kubecka/si/si-stav02.pdf>

[27] BIELY B.: Realizace staveb. Elektronické studijní opory VUT v Brně, 2006. 933 s.

6.3 Literatura

[19] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.

[20] CAMPIONE, Giuseppe. *Strength and ductility of R.C. columns strengthened with steel angles and battens*. Journal of Structural Engineering, 2012, 35: 800-807.

[21] CALDERÓN, Pedro A.; ADAM, Jose M.; IVORRA, Salvador; PALLARÉS, Francisco J.; GIMENÉZ, Ester. *Design strength of axially loaded RC columns strengthened by steel caging*. Journal of Structural Engineering, 2009, 30: 4069-4080.

[22] MONTUORI, Rosario; PILUSO, Vincenzo; RIZZANO, *Ultimate Resistance of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Angles and Battens: Theoretical Model and Experimental Validation*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004, 15 s.

[23] GIMENÉZ, Ester; ADAM, Jose M.; IVORRA, Salvador; CALDERÓN, Pedro A. *Influence of strips configuration on the behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips*. Journal of Structural Engineering, 2009, 30: 4103-4111.

[28] ZICH, Miloš a kol.: *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů*. Vyd. Praha 1: Verlag Dashöfer, 2010, 149 s. ISBN 978-80-86897-38-7.

[29] WITZANY J., ČEJKA T., WASSERBAUER R., ZIGLER R.: *PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce*. ČVUT v Praze, 2010. 458 s. ISBN 978-80-01-04488-9.

[30] VAŠEK M.: *Havárie, poruchy a rekonstrukce*. Nakladatelství Grada, 2011. 192 s. ISBN 978-80-247-3526-9.

[31] SOLAŘ J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Nakladatelství Grada, 2008. 192 s. ISBN 978-80-247-2672-4.

[32] HOLICKÝ M., MARKOVÁ J.: *Zásady navrhování stavebních konstrukcí*. Vydavatelství ČKAIT Praha, 2008. 150 s. ISBN 978-80-87093-27-6.

6.4 Presentace

- [24] ŠTĚPÁNEK P., LANÍKOVÁ I., ŠIMŮNEK P.: Varianty sanace železobetonového skeletu budovy z 50. let. VUT v Brně, 2013. 60 s.

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Obecný postup hodnocení	14
Obrázek 2 – Ishikawův diagram: Normová spolehlivost konstrukce	15
Obrázek 3 – Ishikawův diagram: Zjištění aktuálního stavu konstrukce	16
Obrázek 4 – Ukázky skutečných pracovních diagramů betonu v tlaku	30
Obrázek 5 – Rozvoj trhlin v betonu namáhaném jednoosým tlakem	30
Obrázek 6 – Pracovní diagram betonu v tlaku	31
Obrázek 7 – Účinek příčného tlaku na pracovní diagram	31
Obrázek 8 – Ocelová bandáž žb. sloupu	32
Obrázek 9 – Průběh napětí po délce prvku	32
Obrázek 10 – Oblast působení sevření	33
Obrázek 11 – Úprava konců sloupu: a) bez úpravy b) úprava pomocí úhelníků	34
Obrázek 12 – Úprava konců sloupu: a) úhelníky b) tenkostěnné trubky	35
Obrázek 13 – Pracovní diagramy	36
Obrázek 14 – Průběh přetvoření při plném tlakovém zatížení	38
Obrázek 15 – Hodnocený objekt	41
Obrázek 16 – Štěrkové hnízdo	42
Obrázek 17 – Vedení elektroinstalace	42
Obrázek 18 – Odebírání jádrového vývrtu	43
Obrázek 19 – Jádrový vývrt	43
Obrázek 20 – Místo po jádrovém vývrtu	43
Obrázek 21 – Lokální sonda výztuže	43
Obrázek 22 – Posuzovaný železobetonový sloup	44

Obrázek 23 – Ověření únosnosti sloupu v Microsoft Excel	45
Obrázek 24 – Ověření únosnosti ve FIN EC	46
Obrázek 25 – Průběh přetvoření na kontrolním příkladu	47
Obrázek 26 – Průběh přetvoření na posuzovaném sloupu	47
Obrázek 27 – Zesílený železobetonový sloup	48
Obrázek 28 – Interakční diagram sevřeného betonu	49
Obrázek 29 – Interakční diagram citlivostní analýzy	51
Obrázek 30 – Příklad podoby výsledného výkresu bandáže sloupu	53
Obrázek 31 – Provádění aktivace předpětí	54

8 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vyhodnocení třídy betonu	21
Tabulka 2 – Minimální počet zkušebních míst podle objemu konstrukce	22
Tabulka 3 – Výřez tabulky tvarů betonářských výztuží dle ČSN 73 0038	23
Tabulka 4 – Ukázka provedení výpočtu v programu Microsoft Excel	44
Tabulka 5 – Citlivostní analýza parametrů nezesíleného sloupu	50
Tabulka 6 – Citlivostní analýza pevnosti sevřeného betonu	52
Tabulka 7 – Stupnice hodnocení	54
Tabulka 8 – Vyplněný formulář UMRA - Bc. Jiří Bohatec	55
Tabulka 9 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Ivana Laníková, PhD	55
Tabulka 10 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Petr Šimůnek, PhD.	56
Tabulka 11 – Výsledné vnímání nebezpečí	56
Tabulka 12 – Výsledné vnímání nebezpečí segmentů projektu a zdrojů nebezpečí	57
Tabulka 13 – Vyplněný formulář UMRA - Bc. Jiří Bohatec	58
Tabulka 14 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Ivana Laníková, PhD	59
Tabulka 15 – Vyplněný formulář UMRA - Ing. Petr Šimůnek, PhD.	60
Tabulka 16 – Výsledné vnímání nebezpečí	61
Tabulka 17 – Výsledné vnímání nebezpečí segmentů projektu a zdrojů nebezpečí	61